

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

Ю.А. Селихов, В.А. Лещенко, С.И. Бухкало, И.Б. Рябова,
В.М. Кошельник, С.Н. Быканов, Е.А. Семенченко, С.И. Соловей

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ НА ЭВМ

Учебное пособие

Утверждено
редакционно-издательским
советом НТУ «ХПИ»,
протокол № 3 от 02.10.2003

Харьков НТУ «ХПИ» 2004

ББК 26.23

С-29

УДК 614.72:628.51.001.2

Рецензенты: А.П. Михайлюк, проф. Академии пожарной безопасности Украины
В.Е. Ведь, проф. Национального технического университета «ХПИ».

Авторы: Ю.А. Селихов, В.А. Лещенко, С.И. Бухкало, И.Б. Рябова, В.М. Кошельник, С.Н. Быканов, Е.А. Семенченко, С.И. Соловей

Селихов Ю.А., Лещенко В.А., Бухкало С.И. и др. Расчет и проектирование промышленных выбросов на ЭВМ: Учеб. пособие. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004. – 96 с. – На русск. яз.

В учебном пособии рассмотрен механизм рассеивания в атмосфере загрязняющих веществ, содержащихся в технологических и вентиляционных выбросах. Приведены методы расчетов наиболее встречающихся вариантов рассеивания вредных веществ в приземном слое атмосферы при различном расположении источников выброса, их размеров и конфигурации по расчетным формулам, номограммам, которые значительно упрощают и ускоряют выполнение расчета, а также программы расчетов на языке программирования QBASIC.

Предназначено для преподавателей вузов и студентов экологических специальностей.

Розглянуто механізм розсіювання в атмосфері забруднювальних речовин, що утримуються в технологічних і вентиляційних викидах. Наведено методи розрахунків варіантів розсіювання шкідливих речовин у приземному шарі атмосфери при різному розташуванні джерел викиду, їхніх розмірів і конфігурації по розрахункових формулах, номограмах, що значно спрощують і прискорюють виконання розрахунку, а також програми розрахунків мовою програмування QBASIC.

Призначено для викладачів вузів і студентів екологічних спеціальностей.

Ил. 23

Табл.22

Библиогр. 8

ББК 26.23 С–29

© Ю.А. Селихов, В.А. Лещенко, С.И. Бухкало, И.Б. Рябова, В.М. Кошельник, С.Н. Быканов, Е.А. Семенченко, С.И. Соловей, 2004 г.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с Конституцией Украины и законами Украины: «Об охране окружающей природной среды» (1264-12) и «Об охране атмосферного воздуха» (2556-III от 21.06.2001 г.) в интересах настоящего и будущих поколений в нашем государстве принимаются необходимые меры по сохранению чистоты воздуха и улучшению окружающей среды. Предусматриваются определенные меры по охране атмосферного воздуха: регламентирован порядок установления нормативных величин, лимитирующих вредные воздействия на атмосферный воздух химических, физических и биологических факторов, включая предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и предельно допустимый выброс (ПДВ) загрязняющих веществ в атмосферу источниками. Законодательство в Украине регламентирует размещение, проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию предприятий, сооружений и других объектов, влияющих на состояние атмосферного воздуха, а также предусматривает государственный учет объектов, оказывающих неблагоприятное влияние на состояние атмосферного воздуха и размеров этого влияния; наблюдение и контроль состояния атмосферного воздуха; ответственность за нарушение законодательства об охране атмосферного воздуха. В зависимости от количественного и качественного состава промышленных выбросов, их периодичности, высоты, на которую осуществляется выброс, а также от климатических условий, определяющих перенос и рассеивание выбросов и вымывание вредных веществ атмосферными осадками, и многих других факторов формируется уровень загрязнения атмосферы. Большой ущерб народному хозяйству наносят выбросы промышленности, содержащие не только токсичные, но и агрессивные вещества, вызывающие ускоренную коррозию металла. Чрезмерная загрязненность воздушного пространства на заводской территории сводит на нет эффективность работы приточной вентиляции в цехах. Основной задачей оздоровления воздушного бассейна является строгое соблюдение условий, при которых концентрации вредных веществ в атмосфере не превышают предельно допустимые значения.

Прежде чем проектировать, строить и реконструировать промышленные предприятия, необходимо определить, в какой мере выбросы данного производственного объекта создадут первичные или дополнительные к уже имеющимся загрязнения воздуха в пределах нормируемых величин ПДК. При расчетном прогнозировании уровня загрязнения воздуха на территории промышленного предприятия и в прилегающем жилом районе необходимо учитывать все выбросы, т.е. не только технологические, но и вентиляционные. Загрязнение воздушного бассейна представляет угрозу здоровью человека и всей окружающей среде.

Существуют единые методики расчетов рассеивания вредных веществ в приземном слое атмосферы (ОНД-86). Однако они являются довольно громоздкими и длительными во времени, если необходимо посчитать распределение загрязнений от нескольких вредных веществ и нескольких источников выбросов. Для ускорения расчета применяется ЭВМ со специальной программой. Поэтому настоящее пособие составлено как комплексный учебник, включающий материал о закономерностях обтекания зданий, сооружений и неровностей рельефа ветровым потоком. В нем представлена классификация зданий и циркуляционных зон, источников выбросов, подробно описан механизм процесса рассеивания вредных веществ в атмосфере и ее приземном слое, характер струи выброса, показано изменение концентрации примесей вдоль оси распространения струи и пылевых частиц, а также описаны нормативные требования к чистоте воздуха в производственных помещениях, на воздухозаборах и в населенных местах (ПДК). Приведены формулы для расчета приземных концентраций вредных веществ, удаляемых вентиляционными источниками. Представлены размеры санитарно-защитных зон в соответствии с санитарной классификацией предприятий и предложены способы уменьшения загрязнений атмосферы. В каждом разделе учебного пособия рассматриваются расчеты рассеивания вредных веществ для соответствующего этой главе наиболее встречающегося варианта. В каждом разделе пособия имеется таблица исходных данных для расчетов загрязнений и их распределения в приземном слое воздуха. В качестве исходных данных приводятся: схема расположения производственных корпусов и источников выброса вредных веществ с геометрическими размерами привязки источников к зданиям; роза ветров, ПДК, характеристики источников выброса – температура, расходы, массовые выбросы вредных веществ от каждого источника, высота и диаметры устьев труб; климатологические данные для местности и др.

Примеры расчетных заданий состоят из трех частей. В первой части, подставив исходные данные, расчетным путем по формулам определяют концентрации в заданных точках; во второй – производят расчет загрязнений по номограммам (рисункам в приложении); в третьей – производят расчет на языке программирования QBASIC на ЭВМ. Все три метода сравнивают, считают погрешность расчетов, делают анализ, дают оценку перспективы загрязнения атмосферы изучаемого объекта выбросами вредных веществ и рекомендации по их снижению. При написании пособия использован опыт проведения занятий по компьютерным курсам на кафедре «Общая химическая технология, процессов и аппаратов» Национального технического университета «ХПИ».

ГЛАВА 1

РАСЧЕТ РАССЕЙВАНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ОТДЕЛЬНО СТОЯЩЕГО УЗКОГО ЗДАНИЯ С ТОЧЕЧНЫМ ИСТОЧНИКОМ

Цель работы – освоить современные методики расчетов рассеивания вредных веществ по формулам, номограммам (рисункам в приложении), а также расчеты на языке программирования QBASIC на ЭВМ для отдельно стоящего узкого здания с точечным источником, построение зон аэродинамической тени, подпора; уметь классифицировать здания, уметь пользоваться нормативной документацией, научиться анализировать экологическую обстановку и находить пути решения проблемы загрязнения воздушного бассейна.

1.1 Движение воздушных масс

Направление движения воздушных масс в атмосфере не совпадает с направлением изменения *барического градиента*, т. е. величины падения давления на единицу расстояния, и составляет с ним некоторый угол. Это объясняется тем, что на массу движущегося воздуха действуют отклоняющая сила вращения Земли и сила трения. Отклоняющая сила вращения Земли носит название *силы Кориолиса*.

Сила трения возникает в приземном слое и обусловлена шероховатостью земной поверхности. Сила трения возникает также между слоями воздуха, которые движутся с различной скоростью. По мере возрастания высоты угол отклонения быстро увеличивается и уже на высоте 500—1000 м достигает максимального значения. Таким образом, на этой высоте воздух движется вдоль *изобар*, т. е. по линиям одинакового атмосферного давления. Такой ветер называется *градиентным*. На высоте порядка 500 м ветер отклоняется от направления, зафиксированного на земле, приблизительно на 20°.

Неравномерный нагрев подстилающей поверхности, а также рельеф местности могут быть причиной возникновения ветра в нижних слоях атмосферы. Такие местные ветры, называемые *локальными*, возникают тогда, когда отсутствует движение воздуха более крупных масштабов или когда скорость воздуха не превышает 2—3 м/с.

Ветер представляет собой величину векторную. Для его характеристики необходимо наряду со скоростью указывать также направление. Кроме того, движение воздушного потока в естественных условиях, т. е. при обычных плотностях воздуха и нормальных скоростях, всегда имеет турбулентный беспорядочный характер, при котором происходит его перемешивание. Интенсивность турбулентного перемешивания может колебаться в очень

широких пределах. Различают турбулентное движение воздуха различных масштабов и различной структуры.

На метеостанциях скорость и направление ветра измеряют при помощи флюгера, расположенного на 10 или 15 м от поверхности земли. Измерения ведут обычно 4 раза в сутки. Такие замеры называются *срочными наблюдениями*.

В тех случаях, когда нельзя воспользоваться приборами, ведут визуальные наблюдения. При этом скорость ветра определяют по шкале Бофорта, принятой Международной метеорологической комиссией. На этой шкале объективные признаки для оценки скорости ветра сопоставлены со скоростями ветра, измеренными анемометром. В таблице 1.1 представлена шкала Бофорта.

Таблица 1.1 – Шкала Бофорта

Баллы Бофорта	Характеристика ветра	Подробное описание	Скорость ветра, м/с
0	Штиль	Дым из трубы поднимается вертикально	0–0,5
1	Тихий	Направление ветра определяется по направлению дыма, но не по движению флюгера	0,6–1,7
2	Легкий	Лицо человека ощущает ветер; слышится шорох листьев; флюгер начинает двигаться	1,8–3,3
3	Слабый	Листья находятся в непрерывном движении; легкие флаги полощутся	3,4–5,2
4	Умеренный	В воздух поднимаются обрывки бумаги и пыль, небольшие ветки раскачиваются	5,3–7,4
5	Свежий	Небольшие деревья с листвой начинают раскачиваться	7,5–9,8
6	Сильный	Большие ветви находятся в движении, слышен свист ветра в телеграфных проводах	9,9–12,4
7	Крепкий	Ветви деревьев находятся в непрерывном движении	12,5–15,2
8	Очень крепкий	Ветви деревьев обламываются; трудно идти против ветра	15,3–18,2
9	Шторм	Наблюдаются легкие повреждения зданий; падают дымовые трубы	18,3–21,5
10	Сильный шторм	Деревья вырываются с корнем, значительные повреждения зданий	21,6–25,1
11	Жесткий шторм	Большие разрушения	25,2–29,0
12	Ураган	Опустошительные действия	>29,0

1.2 Обтекание воздушным потоком неровностей рельефа

Как отмечается в [2], при пологом рельефе, когда углы наклона склонов малы, воздушный поток практически полностью обтекает неровности местности. Известны четыре типа возмущений воздушного потока над препятствием:

1) *ламинарное течение* – наблюдается обычно при очень слабых ветрах. Линии тока над возвышенностью повторяют ее форму, причем амплитуда возмущений с высотой быстро затухает. Вниз по течению от препятствия никаких возмущений не наблюдается;

2) *течение стоячего вихря* – возникает при умеренных ветрах. На подветренной стороне препятствия образуется вихрь с приблизительно горизонтальной осью. Этот вихрь не изменяет своего месторасположения. При устойчивом вихре гребень его над препятствием смещается вниз по течению воздуха. На наветренном склоне возникает воздушное течение, противоположное по направлению основному потоку;

3) *волновое движение потока* – возникает при усиливающихся с высотой сильных ветрах, когда стационарный вихрь на наветренной стороне как бы распадается на систему вихрей;

4) *течение ротора* – очень сильные ветры образуют вихри, приближающиеся как один к другому, так и к препятствию. Волновая система разрушается, и движение приобретает неупорядоченный характер.

1.3 Ветер и его воздействие на здания

Ветер представляет собой турбулентное движение воздуха вдоль земной поверхности. Скорость и направление ветра могут резко изменяться. Порывистость обычно обуславливается изменением силы ветра и является физическим выражением вихревого движения.

Леса, группы близко расположенных строений и другие препятствия обтекаются воздушным потоком, при этом скорость движения нижних слоев воздуха перед препятствием значительно уменьшается. Это уменьшение происходит на большом расстоянии от препятствия. Над препятствием скорость ветра значительно увеличивается, а за препятствием снижается и на очень значительном расстоянии от него достигает первоначального значения.

Действие ветра на здание проявляется в том, что на его наветренных поверхностях создаются избыточные давления, а на наветренных – разрежения. На лобовых поверхностях здания вследствие подпружинивания потока происходит его торможение, и кинетическая энергия (энергия движения) преобразуется в потенциальную (энергию давления).

Возмущение, вносимое зданием, распространяется на сравнительно небольшую область поперечного сечения потока. Вне этой области течение ос-

тается невозмущенным.

Скорости ветра над крышей и с торцов здания большие, чем перед зданием в невозмущенном потоке. Так как полная энергия потока в направлении его продольной оси остается приблизительно неизменной, можно считать, что скорость потока увеличивается только за счет потенциальной энергии (давления). Поэтому над крышей, с торцов и за зданием создаются области пониженных давлений.

Распределение давлений на здании зависит от направления ветра (по отношению к зданию) и от того, открыто здание для воздействия ветра или защищено другими зданиями, а следовательно, находится в *аэродинамической тени*, т. е. в зоне пониженных давлений.

Край крыши представляет собой острую кромку, с которой происходит так называемый *прыжок ветра (срыв потока)*, поэтому за кромкой образуется *зона аэродинамической тени*. При всех направлениях ветра плоская крыша, а также двухскатные крыши, если угол подъема меньше 45° , находятся под разрежением. При угле подъема 45° и более на части крыши, обращенной к потоку, возникает повышенное давление.

Следует отметить, что при обтекании ветром здания со скругленным двугранным углом, образованным стеной здания и крышей, срыва потока ветра не происходит и область вихрей на кровле здания исчезает.

В связи с непрерывно изменяющимися направлением и скоростью ветра в инженерных расчетах приходится пользоваться усредненными данными.

Скорость ветра изменяется с высотой: сначала быстро, затем медленно. Вблизи подстилающей поверхности скорость ветра равна нулю. Закономерность изменения скорости ветра с высотой в приземном слое атмосферы определяется зависимостью

$$u = u_1 \cdot \lg(z/z_0) / \lg(z_1/z_0), \quad (1.1)$$

где u – скорость ветра на высоте z , м/с; u_1 – то же, на высоте z_1 , м/с; z – высота, на которой требуется определить скорость ветра (высота источника выброса), м; z_0 – высота над поверхностью земли, на которой скорость ветра принимается равной нулю (шероховатость подстилающей поверхности), м; z_1 – высота, на которой скорость ветра определяется из климатических справочников (высота флюгера), м.

Обозначим

$$u_1 \cdot \lg(z/z_0) / \lg(z_1/z_0) = \varphi. \quad (1.2)$$

Тогда

$$u = u_1 \cdot \varphi, \quad (1.3)$$

где φ – коэффициент, учитывающий увеличение скорости ветра с высотой.

Изменение скорости ветра с высотой имеет большое значение при мощных точечных источниках значительной высоты, выбросы от которых

распространяются на большие расстояния. Для вентиляционных выбросов малой мощности изменение скорости ветра с высотой над уровнем земли можно не учитывать.

1.4 Зоны подпора и аэродинамической тени вблизи одиночного здания

Зона аэродинамической тени характеризуется наличием устойчивых вихрей, которые увлекают попадающие в нее газы и пыли, а вследствие малого обмена воздуха этой зоны с окружающей средой происходит накопление вредных веществ, концентрации которых достигают некоторого среднего значения для установившегося состояния циркуляционных зон.

Загрязняющие вещества, попадающие в зону аэродинамической тени, плохо рассеиваются в потоках ветра, опускаются на заветренную сторону зданий и загрязняют приземный воздух. Максимальные концентрации вредных веществ в приземном воздухе наблюдаются на расстоянии $x_m = (3 \div 5) \cdot H_{зд}$ [4]. Если несколько последовательно расположенных по ветровому потоку зданий находятся на таком расстоянии одно от другого, они являются *смежными*, т. е. если между ними образуется межкорпусная циркуляционная зона, то выбросы, находящиеся на первых по ветру зданиях, могут создавать фоновые загрязнения циркуляционных зон последующих зданий.

Проведенные исследования [4, 5] позволили установить следующее. Если поместить в аэродинамическую трубу модель здания с прямыми углами, ориентированного одной стороной перпендикулярно к потоку ветра, то это здание вызовет аэродинамические искажения первичного потока. Область вблизи здания имеет четыре зоны: I – зону невозмущенного потока; II – зону подпора, в которой происходит смещение первичного потока, обусловленное лобовым сопротивлением здания; III – зону аэродинамической тени (циркуляционную) над зданием и за ним; IV – зону следа, на границе которой искажение первичной скорости отличается меньше чем на 5 % от местной скорости (рис. 1.1).

В зоне I невозмущенного потока наблюдается логарифмический профиль скоростей, обусловленный шероховатостью подстилающей поверхности. В зоне II (зоне подпора) происходит циркуляция воздуха, при которой направление движения воздуха у поверхности земли противоположно направлению основного потока. В зоне III также происходит циркуляция воздуха, и у поверхности земли направление потоков противоположно направлению ветра. Обмен воздуха зоны аэродинамической тени с окружающим воздухом и удаление из нее части загрязняющих примесей обусловлен диффузией в направлении, поперечном линиям тока.

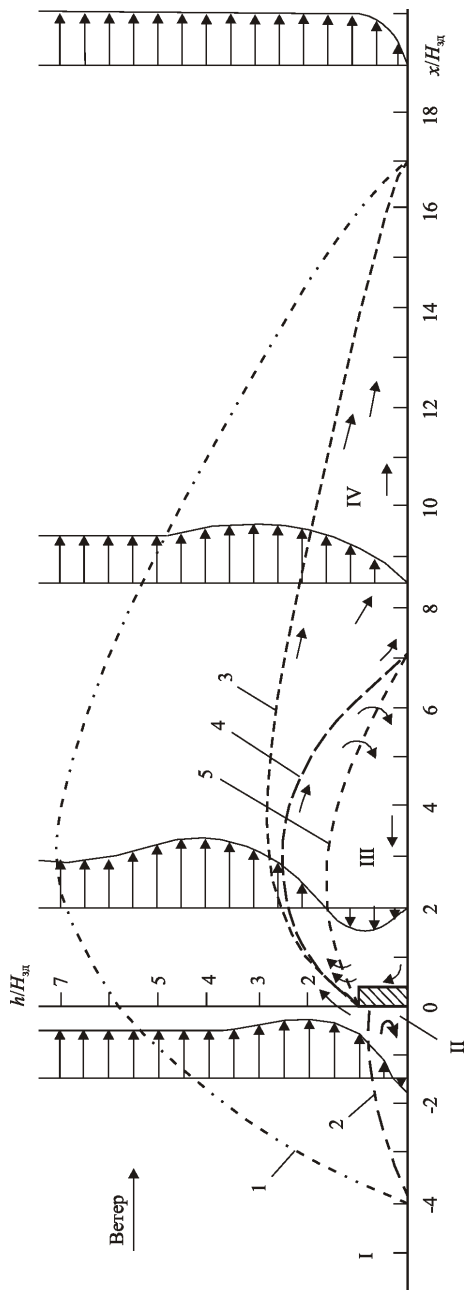


Рисунок 1.1 – Образование основных зон потока вблизи отдельно стоящего остроугольного узкого здания, обдуваемого ветром:
 I – зона невозмущенного первичного потока; II – зона подпора (циркуляционная); III – зона аэродинамической тени (циркуляционная);
 IV – зона следа, 1 – граница зоны возмущения; 2 – граница зоны подпора; 3 – граница зоны следа ($u/u_0 = 0,95$); 4 – граница циркуляцион-
 ной зоны аэродинамической тени; 5 – линия нулевых скоростей в зоне аэродинамической тени; h – высота от уровня земли; x – расстоя-
 ние от наветренной стены

Зона IV ограничена линией, проходящей через карниз здания на фасаде, с которого происходит срыв ветрового потока при отношении скоростей $u/u_0 = 0,95$, где u_0 – скорость ветра в невозмущенном потоке. При этом условии длина следа вдоль оси составляет около $17 H_{зд}$.

На рис. 1.1 показаны границы зон для здания бесконечной длины. Практически можно считать, что при длине здания $l \geq 10 H_{зд}$ и ширине $b \leq 2,5 H_{зд}$ картина течения воздушных масс в средней его части соответствует представленной на рис. 1.1 [4].

При длине здания $l \geq 10 H_{зд}$ и малой ширине $b \leq 2,5 H_{зд}$ размеры зоны III определяются следующими отношениями, приведенными в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Размеры зоны аэродинамической тени (циркуляционной)

$x/H_{зд}$	0	1	2	3	4	5	6	6,5	7
$h_{a.т}/H_{зд}$	1	1,75	2,2	2,1	2,0	1,8	1,4	1,0	0
$h_{a.с}/H_{зд}$	1	1,75	2,3	2,5	2,5	2,4	2,35	2,25	2,2
Примечание: x – расстояние от наветренной стены здания до рассматриваемой точки циркуляционной зоны, м; $h_{a.т}$ и $h_{a.с}$ – соответственно высота аэродинамической тени и аэродинамического следа в данной точке.									

1.5 Классификация зданий и циркуляционные зоны

При обтекании здания ветровым потоком на наветренной стене, над крышей и за зданием образуются замкнутые циркуляционные зоны, характер и размеры которых зависят от геометрических размеров здания, наличия соседних строений, их взаиморасположения и расстояния между ними. Это обстоятельство диктует необходимость рассматривать процессы рассеивания вредных примесей, удаляемых источниками, расположенными на крыше или вблизи производственных зданий, с учетом всех факторов, влияющих на характер циркуляционных зон и механизм рассеивания [1].

В задачу расчета рассеивания загрязнений в атмосфере входит определение наибольшей возможной концентрации вредного вещества, регламентируемого санитарными нормами. В знаменатели формул расчета приземных концентраций в явной или скрытой форме обязательно входит скорость ветра. Ветер оказывает двоякое влияние на рассеивание примесей: чем больше скорость ветра, тем больше турбулентность атмосферы и тем, следовательно, интенсивнее распространяются эти примеси в окружающей среде; в то же время с увеличением скорости ветра уменьшается высота факела над устьем трубы. Поэтому для всех источников выбросов, как затененных, так и незатененных, необходимо определять опасную скорость ветра, т.е. такую скорость, при которой приземные концентрации имеют наибольшие значе-

ния. Опасная скорость не является метеорологическим фактором, и для одного и того же производственного здания, на котором имеются различные источники выброса, она может иметь различные численные значения для каждого источника в зависимости от его характера.

Для группы зданий, примерно равной высоты и расположенных последовательно, за основу может быть принята следующая классификация [2]. Здания разделяются на *длинные*, имеющие протяженность l (м) в направлении, перпендикулярном движению ветра, более $(8 \div 10) H_{зд}$, и *короткие* – протяженностью $l \leq (8 \div 10) H_{зд}$. Каждый из этих классов в свою очередь делится:

а) на *широкие* здания, т.е. имеющие ширину в направлении движения ветра более $2,5 H_{зд}$;

б) *узкие*, т.е. имеющие ширину в направлении ветрового потока $2,5 H_{зд}$ и менее, около которых образуется единая циркуляционная зона высотой от уровня земли до $2,2 H_{зд}$ и длиной около $(6 \div 7) H_{зд}$ от заветренной стены (рис.1.2 а).

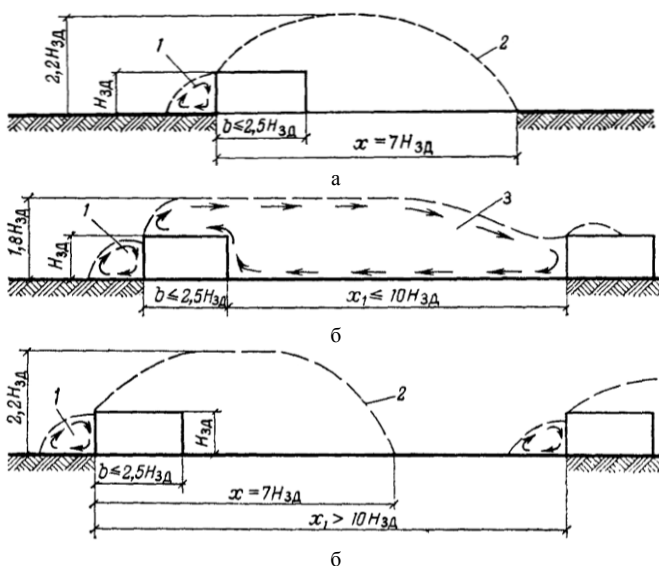


Рисунок 1.2 – Структура воздушного потока, возникающего при обтекании узкого отдельно стоящего здания (а); двух смежных зданий, когда первое по потоку узкое (б); отдельно стоящих двух зданий, когда первое из них узкое (в): 1 – зона подпора; 2 – единая зона; 3 – межкорпусная зона

Если за зданием на расстоянии до $10 H_{\text{зд}}$ расположено второе здание, то эти два здания являются смежными и между ними возникает межкорпусная зона с общей циркуляцией воздушного потока по замкнутому контуру (рис. 1.2 б). При превышении указанного расстояния здания следует рассматривать как отдельно стоящие (рис. 1.2 в), так как общая циркуляция воздуха по замкнутому контуру между ними отсутствует.

1.6 Порядок расчета рассеивания загрязнений в атмосферном воздухе

Расчет рассеивания необходимо начать с рассмотрения схемы расположения источников выбросов и воздухозаборов в отдельно стоящих зданиях (рис. 1.3).

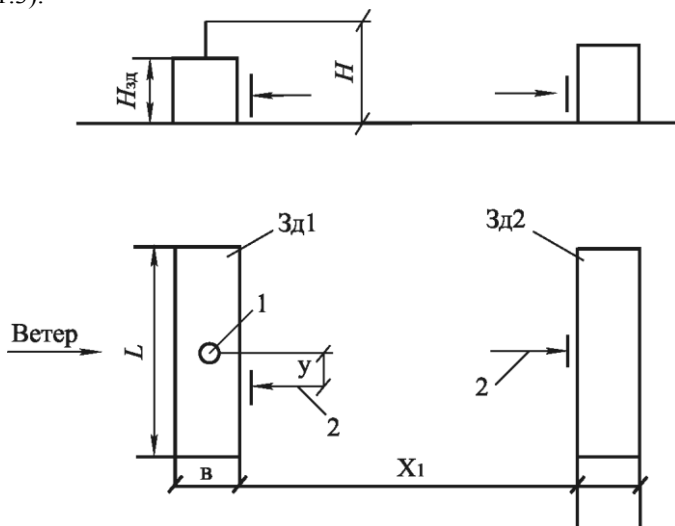


Рисунок 1.3 – Схема расположения источников выбросов и воздухозаборов в отдельно стоящих зданиях: 1 – труба D (м); 2 – воздухозаборы

На здании 1 (см.рис.1.3) длиной l (м), шириной b (м) и высотой $H_{\text{зд}}$ (м) расположена труба диаметром D (м) и высотой H (м), через которую удаляется газовоздушная смесь (ГВС) в объеме L ($\text{м}^3/\text{ч}$), содержащая оксиды азота M (мг/с). Расчет дает возможность определить концентрацию оксидов азота на воздухозаборах: этого же здания на заветренной стене, на расстоянии по оси y (м), и на противоположном здании, расположенном на оси выброса, на расстоянии x_1 (м).

Отношение ширины здания к его высоте $b/H_{\text{зд}} < 2,5$, значит, здание – узкое; $x_1/H_{\text{зд}} > 10$, следовательно, здание – отдельно стоящее.

Расчет рассеивания загрязнений, удаляемых через точечный источник непрерывного действия, расположенный на крыше отдельно стоящего узкого здания, следует проводить по следующим формулам или по номограммам (см. приложение – рисунки П1–П4):

$$u_m = \frac{3,8 \cdot D \cdot w_0}{\varphi \cdot H_{\text{зд}}} \cdot B, \quad (1.4)$$

$$B = \frac{1}{\sqrt{\bar{H}^2 + 3,3 - \bar{H}}}, \quad (1.5)$$

где u_m – опасная скорость ветра, м/с; φ – коэффициент скорости, зависящий от относительной высоты \bar{H} ; $\bar{H} = H - H_{\text{зд}} / H_{\text{зд}}$; w_0 – средняя скорость выхода ГВС из устья источника, м/с; D – диаметр устья трубы, м.

Зависимость относительной высоты \bar{H} от коэффициента φ приведена в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Зависимость относительной высоты \bar{H} от коэффициента φ

\bar{H}	0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,2
φ	0,8	1,0	1,1	1,2	1,4	1,4

$$c_m = \frac{0,53 \cdot \varphi \cdot M \cdot E \cdot K_{L_T}}{D \cdot w_0 \cdot H_{\text{зд}}}, \quad (1.6)$$

$$E = \frac{\sqrt{\bar{H}^2 + 3,3 - \bar{H}}}{e^{-0,15(\sqrt{\bar{H}^2 + 3,3 - \bar{H}})}}, \quad (1.7)$$

где c_m – максимальная концентрация загрязняющих веществ в приземном воздухе единой циркуляционной зоны, мг/м³, K_{L_T} – коэффициент, учитывающий изменение максимальной концентрации в приземном слое от относительной длины здания $l/H_{\text{зд}}$.

Зависимость K_{L_T} от относительной длины здания представлена в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Зависимость K_{L_T} от относительной длины здания

$l/H_{зд}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K_{L_T}	1,2	1,3	1,5	1,0	0,8	0,65	0,5	0,35	0,28	0,23

$$c = c_m \cdot e^{-0,1 \cdot \left(\frac{x_1}{H_{зд}} - 3 \right)}, \quad (1.8)$$

где c – концентрация по оси струи, перпендикулярной длинной стороне здания на расстоянии x_1 от заветренной стены.

Расстояние по оси выброса от заветренной стены до точки максимальной концентрации в направлении ветра:

$$x_m = 3 \cdot H_{зд}. \quad (1.9)$$

Концентрация на оси выброса у заветренной стены:

$$c = 0,6 \cdot c_m. \quad (1.10)$$

Чтобы проиллюстрировать ускорение и упрощение расчета по номограммам (см. приложение), выполним его сначала по формулам, а затем повторим по номограммам.

1.7 Порядок расчета по формулам

Определяем скорость ГВС (м/с) на выходе из трубы по формуле

$$w_0 = \frac{L}{\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot 3600}. \quad (1.11)$$

Определяем относительное превышение трубы

$$\bar{H} = H - H_{зд} / H_{зд}.$$

По номограмме (рисунок П3) этой величине соответствует коэффициент $\varphi = 1$.

Коэффициент B определяется по формуле (1.5):

$$B = \frac{1}{\sqrt{\bar{H}^2 + 3,3 - \bar{H}}}.$$

Находим опасную скорость ветра по формуле (1.4):

$$u_m = \frac{3,8 \cdot D \cdot w_0}{\varphi \cdot H_{зд}} \cdot B, \text{ м/с}.$$

Значение коэффициента E определяется по формуле (1.7):

$$E = \frac{\sqrt{\bar{H}^2 + 3,3 - \bar{H}}}{e^{-0,15 \cdot \sqrt{\bar{H}^2 + 3,3 + \bar{H}}}}.$$

Определяем отношение длины здания к ее высоте $l/H_{зд}$.

По рисунку П1, приведенному в приложении, или по таблице 1.2 определяем значение коэффициента K_{Lr} .

Максимальная концентрация загрязняющих веществ в приземном воздухе единой циркуляционной зоны определяется по формуле (1.6)

$$c_m = \frac{0,53 \cdot \varphi \cdot M \cdot E \cdot K_{Lr}}{D \cdot w_0 \cdot H_{зд}}.$$

Находим концентрацию оксидов азота на заветренной стене здания 1 по оси выброса:

$$c = 0,6 \cdot c_m.$$

Вспомогательная безразмерная величина, позволяющая определить концентрацию оксидов азота на расстоянии y (м) от оси выброса, т.е. на воздухозаборе здания 1, определяется по формуле

$$S_1 = \exp \frac{-30y^2}{1,4l + b + x^2}. \quad (1.12)$$

Находим концентрацию оксидов азота на воздухозаборе здания 1

$$c_1 = c \cdot S_1. \quad (1.13)$$

В соответствии с нормами [3] предельно-допустимая концентрация (ПДК) оксидов азота на воздухозаборе будет равна 1,5 мг/м³.

Определяем концентрацию на воздухозаборе здания 2, расположенном по оси выброса на расстоянии x (м), по формуле (1.8)

$$c = c_m \cdot e^{-0,1 \left(\frac{x}{H_{зд}} - 3 \right)}.$$

1.8 Порядок расчета по номограммам

Приведем один из вариантов в качестве примера. Скорость ГВС на выходе из трубы определяем по формуле (1.11):

$$w_0 = \frac{L}{\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot 3600}.$$

Находим отношение длины здания к его высоте $l/H_{зд}$.

Рисунок П1 предназначен для зданий $H_{зд} = 4, 8$ и 12 м, а рисунок П2

для зданий $H_{\text{зд}} = 16, 20$ и 30 м. Расчет ведем по рисунку П1. Определяем $w_0 \cdot D$ ($\text{м}^2/\text{с}$). На оси абсцисс откладываем $w_0 \cdot D$ и восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с кривой $H_{\text{зд}}$ (точка a). От точки a проводим прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с осью ординат (точка b) и получаем $c_{\text{уд}}$. От точки пересечения перпендикуляра с прямой u_m для $H_{\text{зд}}$ (точка $в$) проводим линию, параллельную оси абсцисс до правой шкалы u_m в точке $г$ получаем u_m . На графике K_{L_T} по значению $l/H_{\text{зд}}$ находим K_{L_T} .

Максимальная концентрация определяется по формуле

$$c_m = c_{\text{уд}} \cdot K_{L_T} \cdot M. \quad (1.14)$$

Концентрация на заветренной стене определяется:

$$c = 0,6 \cdot c_m.$$

По рисунку П6 определяем вспомогательную безразмерную величину S_1 , позволяющую найти концентрацию на расстоянии x (м) и y (м) от оси выброса.

По рисунку П6 при $x = 0$ (м) и y (м) – S_1 не определяется.

Поэтому значение S_1 принимаем по аналитическому расчету.

Концентрация оксидов азота на воздухозаборе здания 1

$$c_1 = c \cdot S_1.$$

Определяем превышение допустимой нормы концентрации оксидов азота на воздухозаборе [3].

Концентрацию на воздухозаборе здания 2 определяем по рисунку П4 для точечного источника по значению $x_1/H_{\text{зд}}$ (1.8) и находим превышение допустимой нормы концентрации.

Концентрация на воздухозаборе здания 2

$$c = c_m \cdot e^{-0,1 \left(\frac{x_1}{H_{\text{зд}}} - 3 \right)},$$

после чего определяем допустимую норму концентрации оксидов азота на воздухозаборе [3].

Исходные данные для расчетов рассеивания загрязнений в приземном слое атмосферы приведены в таблице 1.5.

После сопоставления расчетов по формулам и номограммам производим расчет рассеивания загрязнений по программе на ЭВМ.

Программы написаны на языке QBASIC. Своим названием BASIC обязан сокращению фразы Beginner's ALL – purpose Symbolic Instruction Code, которая дословно переводится как «многоцелевой код (язык) символических

инструкций для начинающих». Он был разработан профессорами Дартмутского колледжа (США) Т. Куртцем и Дж. Кемени в 1965 году для обучения студентов, не знакомых с вычислительной техникой. В дальнейшем этот язык претерпел массу изменений, было разработано множество версий BASIC, таких, как Turbo-BASIC, Quick – BASIC, QBASIC и др. Что касается QBASIC, то его возможности почти идентичны языковым средствам Quick-BASIC, т.е. любую программу на QBASIC можно выполнить в среде Quick – BASIC и наоборот. На сегодняшний день QBASIC является одним из наиболее популярных языков программирования.

Таблица 1.5 – Исходные данные для расчета

№ п/п	l , м	b , м	$H_{зд}$, м	D , м	H , м	y , м	L , м ³ /ч	M , кг/с	x_1 , м
1	90	8	18	1,5	25	20	85000	150	100
2	85	9	10	2	15	10	75000	120	150
3	65	10	20	1,8	28	5	70000	280	80
4	90	10	9	1	12	6	80000	200	120
5	80	10	8	2	15	5	55000	180	100
6	95	10	16	1,2	24	8	60000	100	120
7	80	9	8	1	15	8	55000	120	100
8	70	10	7	0,5	10	9	50000	150	90
9	75	7	8	0,7	12	10	45000	220	80
10	80	12	20	1,8	26	12	40000	200	150
11	58	9	8	1	15	10	42000	100	120
12	75	10	8	1,5	15	8	72000	150	85
13	85	12	17	0,5	22	7	68000	170	140
14	60	15	7	1,8	12	10	58000	110	130
15	55	10	10	1	14	8	92000	100	120
16	65	15	30	1,5	38	20	82000	250	80
17	50	9	10	2,2	16	18	46000	220	120
18	85	17	29	2	35	50	52000	250	150
19	78	15	8	1,5	12	30	58000	210	100

Одна из особенностей, привлекающая массового потребителя к QBASICу, кроется в простоте начального освоения и краткости его изыска-

зительных средств. Попробуйте найти хотя бы еще один язык, на котором программа, отвечающая на вопрос, «чему равно дважды два?», состоит всего из четырех символов: ? 2*2.

Аналогичная программа на Паскале содержит, минимум, три строки, а ее длина превышает 20 символов. Примерно вдвое большего по числу символов требует ее аналог на СИ.

Таблица 1.6 – Список идентификаторов

Обозначение в тексте	Идентификатор
Длина здания 1, l	L
Ширина здания 1, b	b
Высота здания 1, $H_{зд}$	hzd
Диаметр источника выброса, D	d
Высота источника выброса, H	h
Расстояние от воздухозабора до источника выброса, y	y
Объем газовой смеси (ГВС), L	L1
Массовый расход ГВС, M	m
Расстояние между зданиями, x_1	x1
Предельно допустимая концентрация (ПДК)	pdk
Скорость ГВС на выходе из источника выброса, ω_0	w0
Относительное превышение трубы, \bar{H}	hpr
Коэффициент B	kB
Опасная скорость ветра, u_m	Um
Коэффициент ϕ	fi
Коэффициент E	e
Коэффициент K_{LT}	klt
Максимальная концентрация загрязняющих веществ в приземном воздухе, c_m	cm
$l/H_{зд}$	otn
Концентрация оксидов азота на заветренной стороне здания, c	cs
Вспомогательная величина, S_1	s1
Концентрация оксидов азота на воздухозаборе здания 1	cz1
Концентрация оксидов азота на воздухозаборе здания 1, ПДК	cr1
Концентрация оксидов азота на воздухозаборе здания 2	cz2
Концентрация оксидов азота на воздухозаборе здания 2, ПДК	cr2

QBASIC позволяет выполнять следующие задачи:

- производить достаточно сложные расчеты вычислительного характера;
- выполнять арифметическую и логическую обработку числовой и символьной информации;
- выводить на экран дисплея символьную и графическую информацию в различных форматах;
- управлять цветом экрана и создавать музыкальные фрагменты;
- обрабатывать данные, которые хранятся на внешних носителях в виде файлов, содержащих разнообразную информацию (экспериментальные данные, справочники, тексты, каталоги и т.п.);
- выводить на печать выходные документы различной структуры и сложности.

Основные приемы программирования в среде QBASIC изложены в [5].

Пример программы расчета на ЭВМ

```
'Задание1
DECLARE SUB ss (otn, KLt)
DIM SHARED ot(1 TO 10), KL(1 TO 10)
CLS
'*****Ввод исходных данных*****
L = 80: b = 8: hzd = 8: d = 1: h = 10: y = 8
L1 = 95000: m = 100: x1 = 120: pdk = 1.5
'Данные таблицы 1.3
DATA 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10
DATA 1.2,1.3,1.5,1,0.8,0.65,0.5,0.35,0.28,0.23
'*****
'Чтение данных таблицы 1.3 (заданных в операторе DATA)
FOR i = 1 TO 10: READ ot(i): NEXT i
FOR i = 1 TO 10: READ KL(i): NEXT i
w0 = L1 / (3.14 * d ^ 2 * 3600 / 4)
hpr = (h - hzd) / hzd
kb = 1 / (SQR(hpr ^ 2 + 3.3) - hpr)
PRINT "Скорость ГВС на выходе из трубы w0="; w0
PRINT "Относительное превышение трубы hpr="; hpr
PRINT "Коэффициент kb="; kb
INPUT "введите fi"; fi
PRINT "fi="; fi
um = 3.8 * d * w0 * kb / fi / hzd
e = (SQR(hpr^2+3.3)-hpr)/EXP(-.15*(SQR(hpr^2+3.3)+hpr)^2)
otn = L / hzd
PRINT "Опасная скорость ветра um="; um
```

```

PRINT "Коэффициент e="; e
PRINT "Отношение длины здания к его высоте otn="; otn
razn = otn - INT(otn)
IF razn <> 0 THEN otn = INT(otn) + 1
PRINT "Округленная otn "; otn
CALL ss(otn, KLt)
PRINT "kLt="; KLt
cm = (.53 * m * fi * e * KLt) / (d * w0 * hzd)
cs = .6 * cm
s1 = EXP((-30 * y ^ 2) / (1.4 * L + b + 0) ^ 2)
cz1 = cs * s1
PRINT"Макс.конц-я загр.веществ в приземном воздухе cm=";cm
PRINT"Конц-я оксидов азота на зав.стороне здания 1 cs=";cs
PRINT"Вспомогательная величина s1="; s1
PRINT"Конц-я оксидов азота на воздухозаборе здания 1 cz1=";cz1
cr1 = pdk / cz1
PRINT "Допустимая концентрация оксидов азота pdk="; pdk
PRINT "Отношение pdk/cz1="; cr1
cz2 = cm * EXP(-.1 * (x1 / hzd - 3))
PRINT "Конц-я оксидов азота на воздухозаборе здания 2 cz2="; cz2
cr2 = pdk / cz2
PRINT "Отношение pdk/cz2="; cr2
END

SUB ss (otn, KLt)
'Нахождение KLT из таблицы 1.3.
FOR i = 1 TO 10
IF ot(i) = otn THEN KLt = KL(i)
NEXT i
END SUB

```

Результаты расчета

Скорость ГВС на выходе из трубы w0= 33.61642
 Относительное превышение трубы hpr= .25
 Коэффициент kb= .6314279
 fi= 1.05
 Опасная скорость ветра um= 9.602393
 Коэффициент e= 3.037546
 Отношение длины здания к его высоте otn= 10
 Округленная otn= 10
 kLt= 0.23

Макс. конц-я загр. веществ в приземном воздухе $cm = 1.1445687$
Конц-я оксидов азота на зав. стороне здания 1 $cs = 8.674125E-02$
Вспомогательная величина $s1 = .8751733$
Конц-я оксидов азота на воздухозаборе здания 1 $cz1 = 7.591362E-02$
Допустимая концентрация оксидов азота $pdk = 1.5$
Отношение $pdk/cz1 = 19.7593$
Конц-я оксидов азота на воздухозаборе здания 2 $cz2 = 4.354327E-02$
Отношение $pdk/cz2 = 34.44849$

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое опасная скорость ветра?
2. Является ли опасная скорость метеорологическим фактором?
3. Что такое длинные здания?
4. Что такое короткие здания?
5. Что такое широкие здания?
6. Что такое узкие здания?
7. Каков порядок расчета рассеивания загрязнений в атмосферном воздухе по формулам?
8. Каков порядок расчета рассеивания загрязнений в приземном слое атмосферы по номограммам?
9. Какова цель работы?
10. Какие зоны входят в единую циркуляционную зону?
11. Каков порядок расчета рассеивания загрязнений в приземном слое атмосферы по рассмотренной программе?

ГЛАВА 2

РАСЧЕТ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ЛИНЕЙНОГО И ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКОВ ПРИ ИХ СОВМЕСТНОМ ДЕЙСТВИИ И РАЗНОВЫСОТНЫХ УЗКИХ СМЕЖНЫХ ЗДАНИЯХ

Цель работы – освоить современные методики расчетов рассеивания вредных веществ из линейного и точечного источников при их совместном действии и разнорысотных узких смежных зданий по формулам, номограммам (рисункам в приложении), а также на ЭВМ, построение зон аэродинамической тени; уметь пользоваться нормативной документацией, анализировать экологическую обстановку, давать рекомендации по проектированию вентиляционных систем, находить пути решения проблем загрязнения воздушного бассейна.

2.1 Классификация зданий и циркуляционные зоны

Зона аэродинамической тени характеризуется наличием устойчивых вихрей, которые увлекают попадающие в нее газы и пыли, а вследствие малого обмена воздуха этой зоны с окружающей средой происходит накопление вредных веществ, концентрации которых достигают некоторого среднего значения для установившегося состояния циркуляционных зон.

Загрязняющие вещества, попадающие в зону аэродинамической тени, плохо рассеиваются в потоках ветра, опускаются на наветренную сторону зданий и загрязняют приземный воздух. Максимальные концентрации вредных веществ в приземном воздухе наблюдаются на расстоянии $x_m = (3 \div 5)H_{зд}$ [4].

При последовательном расположении ряда зданий (более двух) аэродинамическая картина их обтекания, начиная со второго по потоку здания, имеет несколько иной вид.

Вследствие затенения здания стоящим впереди зданием наветренная зона на втором здании имеет другие размеры (высоту и ширину), которые возрастают по мере увеличения расстояния между зданиями и достигают указанных предельных значений при разрушении межкорпусных циркуляционных зон.

Относительные размеры наветренной зоны в этом случае должны определяться по графикам (рис. 2.1 а, б), на оси абсцисс которых отложены значения безразмерной величины $\bar{x}_1 = x_1/H_{зд}$, где x_1 – расстояние между смежными зданиями, (м), а по осям ординат соответственно относительные значения ширины и высоты наветренной зоны $\bar{b}_{зоны} = b_{зоны}/H_{зд}$ и

$\bar{h}_{\text{зоны}} = h_{\text{зоны}}/H_{\text{зд}}$, где $b_{\text{зоны}}, h_{\text{зоны}}$ – ширина и высота наветренной циркуляционной зоны на втором и последующих смежных зданиях, расположенных по потоку ветра, (м).

Из графиков следует, что при значениях $x_1 \leq 4H_{\text{зд}}$, когда первое по потоку здание широкое, и при $x_1 \geq 6H_{\text{зд}}$, когда оно узкое, наветренная зона на втором здании практически отсутствует и вся его крыша проветривается прямыми потоками воздуха.

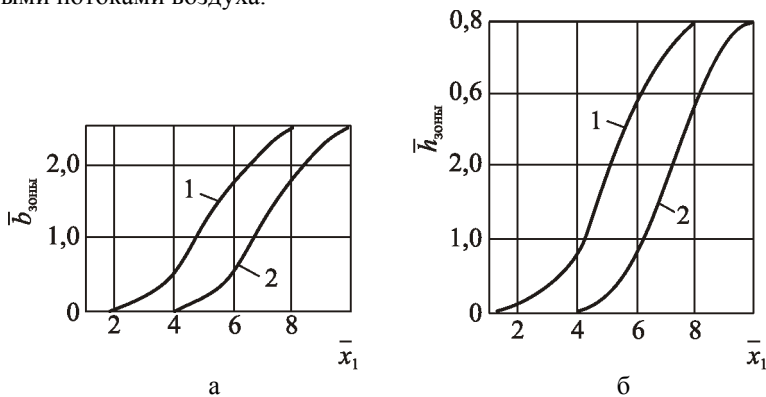


Рисунок 2.1 – График для определения ширины (а) и высоты (б) наветренной циркуляционной зоны, возникающей над вторым смежным зданием: 1 – первое по потоку здание широкое; 2 – то же, узкое (для рассматриваемой межкорпусной зоны)

Таким образом, все здания примерно равной высоты, последовательно расположенные за первым по потоку ветра, должны классифицироваться следующим образом:

а) *широкие*, размеры которых в направлении движения ветра превышают длину наветренной зоны, т. е. при $b > \bar{b}_{\text{зоны}}$ (рис. 2.2 а), а также здания с проветриваемой прямыми потоками крыши (рис. 2.2 б), к которым относятся все вторые для рассматриваемой межкорпусной зоны здания, если ее размер $x_1 \leq 4H_{\text{зд}}$, когда первое по потоку здание широкое, или $x_1 \leq 6H_{\text{зд}}$, если оно узкое;

б) *узкие*, размеры которых в направлении движения ветра равны или меньше длины наветренной зоны, найденной по рис. 2.2, т.е. при $b = b_{\text{зоны}}$ (рис. 2.2 в);

в) *смежные*, к этим зданиям относятся:

– все соседние здания, первое по потоку из которых является широким, а расстояние между ними $x_1 \leq 8H_{\text{зд}}$;

– все соседние здания, первое по потоку из которых узкое, при рассто-

янии между ними x_1 , равном или меньшем $x_{кр}$, найденном по рис. 2.3.

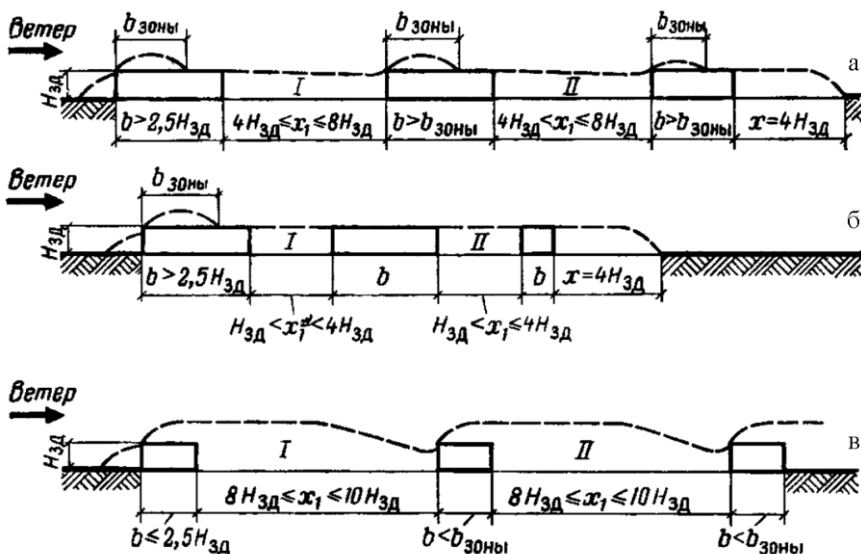


Рисунок 2.2 – Структура воздушного потока при обтекании ряда последовательно расположенных зданий: а – первое по потоку в каждой межкорпусной зоне (I, II) здание широкое и на его крыше возникает наветренная зона; б – то же, но крыша проветривается прямыми потоками воздуха; в – первое по потоку в каждой межкорпусной зоне здание узкое

По оси абсцисс (рис. 2.3) отложены значения $\bar{h}_{зоны}$ (см.рис. 2.1 б), а по оси ординат – значение безразмерной величины $\bar{x}_{кр} = x_1/H_{зд}$, где x_1 – расстояние между рассматриваемыми смежными зданиями, (м); $H_{зд}$ – высота первого по потоку для рассматриваемой межкорпусной зоны здания, (м).

Из рис. 2.3 следует, что для узких зданий, рассматриваемых в совокупности, $\bar{x}_{кр}$ изменяется в пределах $(8 \div 10)H_{зд}$;

г) *отдельно стоящие* – к этим зданиям относятся:

– все последовательно стоящие соседние здания, первое по потоку из

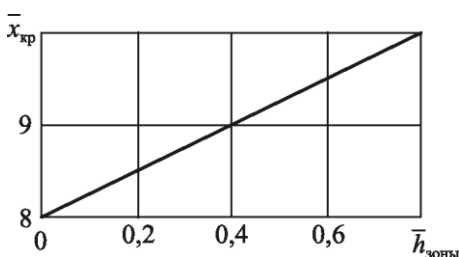


Рисунок 2.3 – График для определения предельной длины межкорпусной циркуляционной зоны, когда первое по потоку здание узкое

которых является широким, а расстояние между ними $x_1 > 8H_{\text{зд}}$;

– все последовательно стоящие соседние здания, первое по потоку из которых узкое, при $x_1 > \bar{x}_{\text{кр}}$; найдены по рис. 2.3.

Как правило, все здания при направлении ветра, совпадающего с их продольной осью, являются широкими.

При совместном рассмотрении последовательно расположенных зданий может оказаться, что одно и то же здание будет смежным со зданием, расположенным вверх по потоку и отдельно стоящим по отношению к соседнему зданию, находящемуся за ним, и наоборот.

Классификации подлежат все здания промышленной площадки, как связанные с источником распространения вредных веществ, так и смежные с ними, когда требуется расчетная проверка приземных концентраций вредных веществ на уровне окон или воздухозаборных решеток систем приточной вентиляции.

Класс зданий устанавливают при двух направлениях ветра: перпендикулярном и параллельном продольной оси первого здания. Для классификации необходимо знать следующие размеры: высоту $H_{\text{зд}}$, ширину b в направлении ветра, длину здания l в перпендикулярном направлении и расстояние x_1 между двумя соседними зданиями в направлении ветрового потока.

Для отдельно стоящего здания класс «широкое» или «узкое» определяется только по отношению размера ширины здания к его высоте. При $b/H_{\text{зд}} \leq 2,5$ здание – узкое, при $b/H_{\text{зд}} > 2,5$ здание – широкое. Зная величину $\bar{x}_1 = x_1/H_{\text{зд}}$ и классифицированную ширину здания (узкое или широкое), по рис. 2.1 а можно определить относительную ширину наветренной зоны $\bar{b}_{\text{зоны}}$, абсолютное значение которой рассчитывают по формуле

$$b_{\text{зоны}} = \bar{b}_{\text{зоны}} \cdot H_{\text{зд}}. \quad (2.1)$$

Чтобы определить, являются ли узкие здания смежными или отдельно стоящими, дополнительно только для этих зданий по рис. 2.1 б определяют безразмерную высоту наветренной зоны $\bar{h}_{\text{зоны}}$, а затем по рис. 2.3 находят относительную критическую длину единой циркуляционной зоны; абсолютную же длину рассчитывают по формуле

$$x_{\text{кр}} = \bar{x}_{\text{кр}} \cdot H_{\text{зд}}. \quad (2.2)$$

Сопоставляя $x_{\text{кр}}$ и x_1 для каждой межкорпусной зоны, расположенной по потоку за рассматриваемым зданием, окончательно устанавливают его класс.

К точечным источникам выброса вредных веществ в атмосферу относятся такие источники, у которых удаляемые загрязнения сосредоточены в одном месте. К ним относятся выбросные трубы, шахты, крышные вентиля-

торы и другие, близко расположенные источники, вредные вещества из которых при рассеивании в циркуляционной зоне не накладываются одно на другое на расстоянии двух высот здания от его заветренной стены. А к *линейным* источникам относятся такие, которые имеют значительную протяженность в направлении, перпендикулярном ветру. К ним относятся аэрационные фонари, открытые окна, близко расположенные вытяжные шахты и крышные вентиляторы, факелы выбросов из которых накладываются один на другой на расстоянии от заветренной стены здания менее двух его высот.

2.2 Порядок расчета рассеивания загрязнений в атмосферном воздухе

Расчет рассеивания необходимо начать с рассмотрения схемы расположения источников выбросов и воздухозаборов в отдельно стоящих зданиях (рис. 2.4).

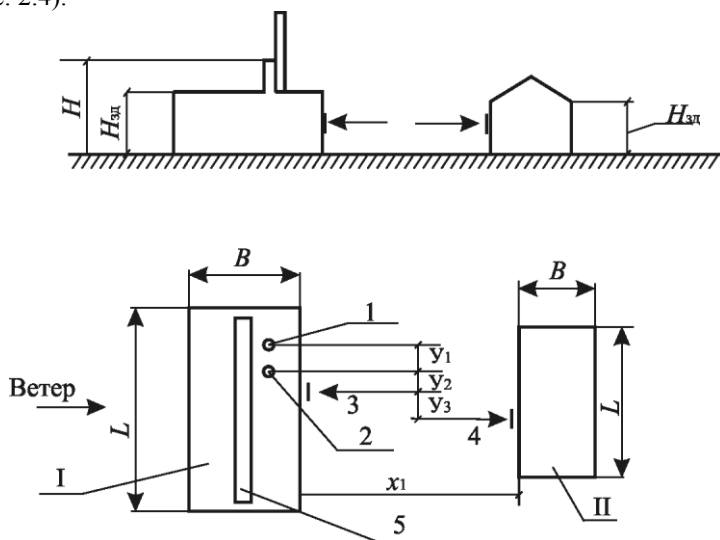


Рисунок 2.4 – Схема расположения источников выбросов и воздухозаборов в смежных разновысотных зданиях:

I – здание первое; II – здание второе; 1 – труба первая; 2 – труба вторая; 3 – воздухозабор на первом здании; 4 – воздухозабор на втором здании; 5 – фонарь

На площадке стоят одно против другого два здания (рис.2.4).

Длина здания I – l (м), ширина b (м), высота $H_{зд}$ (м); длина здания II – l (м), ширина b (м), высота $H_{зд}$ (м). Диаметр трубы 1 D_1 (м); трубы 2 D_2 (м). Возвышение труб над крышей 2 м. Расстояние между зданиями x_1 (м), ПДК хлора в рабо-

чей зоне помещения 1 мг/м^3 . Температура воздуха, выходящего через фонарь, на 5°C выше наружного воздуха. Исходные данные для расчетов загрязняющих веществ, удаляемых из зданий I и II приведены в конце лабораторной работы.

Необходимо определить допустимость выброса загрязняющих веществ местной вытяжной вентиляцией в зону аэродинамической тени, а в случае недопустимости определить требуемые высоты выбросных труб или рассчитать факельные выбросы и концентрации хлора на воздухозаборах приточных вентиляционных систем на заветренной стене здания I и на противоположной стене здания II.

Определяем класс зданий: если $l/H_{\text{здI}}$ и $l/H_{\text{здII}} < 10$, следовательно, здания I и II – короткие; если $b/H_{\text{здI}}$ и $b/H_{\text{здII}} < 2,5$, следовательно, здания I и II – узкие.

Относительное расстояние между зданиями, если $x_1/H_{\text{здI}} < 6$, т.е. здания смежные, причем здание II находится в зоне аэродинамической тени здания I.

Поскольку здание II, находящееся в единой циркуляционной зоне здания I, является препятствием на пути циркуляции воздуха, качественная картина распространения вредностей внутри такой зоны будет отличаться как от случая отдельно стоящего здания, не имеющего такого препятствия, так и от случая рассеивания вредностей в зону двух смежных зданий одинаковой высоты.

Для точечных источников расчет ведем по номограммам 1, 2, 3, а для линейного источника по номограмме 7 и по нижеприведенным формулам.

Определяем опасную скорость ветра по формуле

$$u_m = 0,93 \cdot \varphi \cdot \sqrt[3]{Q/H_{\text{зд}}}, \quad (2.3)$$

далее

$$Q = LC_p(t_{yx} - t_0). \quad (2.4)$$

Максимальную концентрацию загрязняющих веществ в приземном воздухе единой циркуляционной зоны определяем по формуле

$$c_m = \frac{2,9K_{\text{лф}} \frac{M}{l_{\text{ф}}}}{2,25Q^{1/3} H_{\text{зд}}^{2/3} + 2,9K_{\text{лф}} L}, \quad (2.5)$$

где Q – избыток тепла в воздухе, уходящем через фонарь на 1 м его длины, кВт/м; C_p – объемная теплоемкость при постоянном давлении и нормальных условиях принимается величиной постоянной и равной $1250 \text{ кДж/(м}^3 \cdot \text{K)}$; t_{yx} – температура воздуха, уходящего через фонарь, $^\circ\text{C}$; t_0 – температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$; $K_{\text{лф}}$ – коэффициент, учитывающий отношения размеров здания; $l_{\text{ф}}$ – длина фонаря; φ – коэффициент скорости.

Зависимость коэффициента $K_{\text{лф}}$ от размеров здания приведена в таблице 2.1.
Таблица 2.1 – Зависимость коэффициента $K_{\text{лф}}$ от размеров здания

$l/H_{\text{зд}}$	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$K_{\text{лф}}$	0,9	1	1,15	1,3	1,45	1,65	1,8	2,1	2,2

Если на изменение величины приземной концентрации, создаваемой точечными источниками, можно влиять увеличением высот труб или повышением скорости выхода ГВС, то линейный источник не поддается какому-либо воздействию в этом направлении.

Поскольку в нашем расчете оба точечных источника и фонарь загрязняют воздух одновременно, расчет начинаем с линейного источника.

2.2.1 Фонарь

Избыток тепла, содержащегося в воздухе, уходящем через фонарь на 1 м его длины при общей длине l (м), составит по формуле (2.4) значение в кВт.

По рисунку П7 на оси абсцисс откладываем значение Q (кВт) и восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с воображаемой кривой $H_{\text{зд}}$ (м) (точка а). Из точки а проводим линию до пересечения со шкалой u_m (точка б), получаем u_m (м/с).

Максимальную концентрацию хлора в приземном воздухе циркуляционной зоны здания I определяем по формуле (2.5).

Для относительной длины здания $l/H_{\text{зд}}$ определяем значение $K_{\text{лф}}$ по таблице 2.1.

Находим количество хлора (мг/(м·с), выбрасываемого через фонарь на 1 м его длины:

$$c = M/l_{\text{ф}} = L_{\text{ф}} \cdot c_{\text{Cl}_{\text{ф}}} / l_{\text{ф}}.$$

Значение c_m определяется по формуле (2.5).

Концентрацию хлора на воздухозаборе здания I, расположенном на затветренной стене (см. рис. 2.4), в точке 3 определяем по формуле

$$c_3 = 0,6 \cdot c_m. \quad (2.6)$$

Концентрацию хлора на воздухозаборе здания II в точке 4 определяем по рисунку П4 при относительном расстоянии между зданиями $x_1/H_{\text{зд}}$.

Если величина $x_1/H_{\text{зд}} < 2,5$, то считаем, что концентрация на воздухозаборе здания II равна максимальной.

2.2.2 Труба 1

Скорость ГВС на выходе из трубы 1 при ее диаметре D_1 (м) определяем

по формуле

$$w_0 = \frac{4 \cdot L}{\pi \cdot D_1^2} \quad (2.7)$$

По рисунку П2 по отношению $l/H_{зд}$ определяем коэффициент K_{L_T} .

На оси абсцисс рисунка П2 откладываем значение $w_0 \cdot D_1$ (м²/с) и восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с воображаемой кривой $H_{зд}$ (м) (точка a). Из точки a проводим линию до пересечения со шкалой $c_{уд}$ (точка b) и получаем $c_{уд}$. На перпендикуляре к оси абсцисс находим точку пересечения с воображаемой прямой наклонной линией $H_{зд}$ (м) (точка b), а из нее проводим прямую линию до пересечения со шкалой u_m (точка z) и получаем опасную скорость u_m (м/с). Максимальная концентрация хлора в приземном воздухе (мг/м³) определяется по формуле

$$c_m = c_{уд} \cdot K_{L_T} \cdot M \quad (2.8)$$

Находим количество хлора, удаляемого трубой 1, по формуле

$$M = L \cdot c_{Cl_1} \quad (2.9)$$

Эта концентрация будет на оси выброса трубы 1 (по направлению ветра) на расстоянии $x = 3 \cdot H_{здI}$, т.е. на наветренной стене здания II. На заветренной стене здания I по оси выброса концентрация хлора будет определяться по формуле

$$c = 0,6 \cdot c_m \quad (2.10)$$

Концентрация хлора c_3 , создаваемая трубой 1 на воздухозаборе здания I, (точка 3), удаленном от оси выброса на расстояние y (м), определяется по формуле (2.13), а величина S_1 определяется по рисунку Пб. Значение x_2 по оси абсцисс определяется по формуле (2.11) для случая направления ветра, перпендикулярного продольной оси

$$x_2 = 1,4 \cdot l + b + x_1 \quad (2.11)$$

Поскольку воздухозабор здания I расположен на заветренной стене, $x_1 = 0$, тогда $x_2 = 1,4 \cdot l + b$.

По значениям x и y по рисунку Пб находим S_1 .

Из методических соображений произведем аналитическую проверку по формуле

$$S_1 = \exp \frac{-30y^2}{1,4 \cdot l + b + x^2} \quad (2.12)$$

Концентрация хлора, создаваемая трубой 1 на воздухозаборе здания I в

точке 3 определяется по формуле

$$c_3 = c \cdot S_1. \quad (2.13)$$

Концентрация хлора c_4 (мг/м³), создаваемая трубой 1 на воздухозаборе здания II в точке 4 на расстоянии $x_3 = 1,4 \cdot l + b + x_1$, (м), при y (м) и S_1 (определяется по номограмме 6) находится по формуле $c_4 = S_1 \cdot c_m$.

2.2.3 Труба 2

Скорость ГВС на выходе из трубы 2 при ее диаметре D_2 (м) определяем по формуле (2.7):

$$w_0 = \frac{4 \cdot L}{\pi \cdot D_2^2}.$$

Находим произведение $w_0 \cdot D_2$. По рисунку П2 по отношению $l/H_{зд}$ находим коэффициент K_{L_T} . По $w_0 \cdot D_2$ и $H_{зд}$ находим величины $c_{уд}$ и u_m .

Количество хлора (мг/с), удаляемого трубой 2, определяется по формуле:

$$M = L_2 \cdot c_{Cl_2}.$$

Максимальная концентрация хлора (мг/м³) в приземном воздухе, создаваемая трубой 2, определяется по формуле (2.8):

$$c_m = c_{уд} \cdot K_{L_T} \cdot M.$$

Концентрация по оси выброса на заветренной стене здания I определяется по формуле (2.10):

$$c = 0,6 \cdot c_m.$$

Находим расстояние от оси выброса до воздухозабора здания I – y_2 (м) и до воздухозабора здания II – $(y_2 + y_3)$ (м). По номограмме 6 при известных x_1 (м) и y (м) определить величину S_1 затруднительно, что обусловлено большой кривизной кривой y , поэтому определяем значение S_1 по формуле (2.12):

$$S_1 = \exp \frac{-30y^2}{1,4 \cdot l + b + x^2},$$

где y (м) = $y_1 + y_2 + y_3$.

Концентрацию хлора c_4 (мг/м³) определяем по формуле (2.13), создаваемую трубой 1 на воздухозаборе здания II в точке 4 на расстоянии x_2 , которое определяем по формуле (2.11):

$$x_1 = 1,4 \cdot l + b + x.$$

Суммарные концентрации хлора, создаваемые всеми источниками выброса на воздухозаборах зданий I и II, сводим в таблицу 2.2. ПДК хлора на воздухозаборе 0,3 мг/м³. Следовательно, нельзя допустить удаление хлора в

указанных количествах трубами 1 и 2.

Таблица 2.2 – Концентрация хлора

Источник выброса	Концентрация хлора	
	точка 3	точка 4
Фонарь		
Труба 1		
Труба 2		
Итого		

Поскольку фонарь создает в точке 4 концентрацию хлора, близкую к предельной, выбросы из труб 1 и 2 должны быть полностью обезврежены или удалены за пределы зоны аэродинамической тени на высоту не менее $2,5 H_{зд}$, т.е. необходимо определить $H_{тр} = 2,5 \cdot H_{зд}$. Эта высота является минимальной для зданий I и II, поскольку при удалении за пределы $2,5 \cdot H_{зд}$ считается, что циркуляционная зона между этими зданиями выбросами труб 1 и 2 загрязняться не будет. Однако может случиться, что при удалении на высоту $H_{тр}$ вредности будут загрязнять воздушное пространство территории непромышленного предприятия, где ПДК на воздухозаборе имеет более высокие значения, а воздух населенных мест, где ПДК может быть значительно ниже. В этом случае может возникнуть необходимость удаления загрязняющих веществ на большую высоту.

Таблица 2.3 – Список идентификаторов

Обозначение в тексте	Идентификатор
π	pi
Длина здания 1, l	Lz1
Ширина здания 1, b	bz1
Высота здания 1, h	hz1
Длина здания 2, l	Lz2
Ширина здания 2, b	bz2
Высота здания 2, h	hz2
Расстояние между зданиями, x_1	x1
Объем ГВС, выбрасываемой через фонарь, $L_{ф}$	Lf
Объем ГВС, выбрасываемой через трубу 1, L_1	L1
Объем ГВС, выбрасываемой через трубу 2, L_2	L2

Продолжение таблицы 2.3

Концентрация хлора, выбрасываемого через фонарь $c_{Clф}$	cf
Концентрация хлора, выбрасываемого через трубу 1, c_{Cl_1}	CL1
Концентрация хлора, выбрасываемого через трубу 2, c_{Cl_2}	CL2
Температура ГВС на выходе, t_{yx}	ty
Температура ГВС на входе, t_0	t0
Высота источника выброса, H	h
Диаметр 1 источника выброса, D_1	d1
Диаметр 2 источника выброса, D_2	d2
Количество тепла, уходящего через фонарь, Q	q
$M/L_{ф}$	ot1
Коэффициент K_{Lf}	kLf
Количество хлора, выбрасываемого через фонарь, K_{Cl}	KCL
Максимальная концентрация Cl в приземном воздухе при выбросе через фонарь, c_M	Cmf
Концентрация Cl в точке 3 при выбросе через фонарь, c_3	Cvz3
Скорость ГВС на выходе из трубы 1, ω_0	W01
Количество хлора, удаляемого трубой 1, M	M1
Максимальная концентрация Cl в приземном воздухе при выбросе через трубу 1, c_M	Cmt1
Концентрация по оси выброса на наветренной стороне здания 1 при выбросе через трубу 1, c	Czz
Концентрация Cl в точке 3 при выбросе через трубу 1, c_3	C13
Концентрация Cl в точке 4 при выбросе через трубу 1, c_4	C14
Скорость ГВС на выходе из трубы 2, ω_0	W02
Количество хлора, удаляемого трубой 2, M	M2
Максимальная концентрация Cl в приземном воздухе при выбросе через трубу 2, c_M	Cmt2
Концентрация по оси выброса на наветренной стороне здания 1 при выбросе через трубу 2, c	C2
Концентрация Cl в точке 3 при выбросе через трубу 2, c_3	C23
Концентрация Cl в точке 4 при выбросе через трубу 2, c_4	C24

Вариант 1

Здание I			Здание II			$x_1, \text{ м}$	$L_{\text{ф}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_1, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_2, \text{ м}^3/\text{с}$	$c_{CL\text{ф}}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CLI}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CL2}, \text{ мг/м}^3$	$t_{\text{yx}}, ^\circ\text{C}$	$t_0, ^\circ\text{C}$	$H, \text{ м}$	$D_1, \text{ м}$	$D_2, \text{ м}$	y_1	y_2	y_3
$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$															
110	22	20	75	20	13	50	135	3,55	8,55	1,6	36,0	13,50	32	27	22	0,9	1,5	15	5	10

Вариант 2

Здание I			Здание II			$x_1, \text{ м}$	$L_{\text{ф}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_1, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_2, \text{ м}^3/\text{с}$	$c_{CL\text{ф}}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CLI}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CL2}, \text{ мг/м}^3$	$t_{\text{yx}}, ^\circ\text{C}$	$t_0, ^\circ\text{C}$	$H, \text{ м}$	$D_1, \text{ м}$	$D_2, \text{ м}$	y_1	y_2	y_3
$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$															
120	24	22	80	20	14	60	140	2,55	6,5	1,8	32,0	12,0	30	25	24	1,0	1,2	15	5	10

Вариант 3

Здание I			Здание II			$x_1, \text{ м}$	$L_{\text{ф}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_1, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_2, \text{ м}^3/\text{с}$	$c_{CL\text{ф}}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CLI}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CL2}, \text{ мг/м}^3$	$t_{\text{yx}}, ^\circ\text{C}$	$t_0, ^\circ\text{C}$	$H, \text{ м}$	$D_1, \text{ м}$	$D_2, \text{ м}$	y_1	y_2	y_3
$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$															
130	22	22	70	18	12	40	139	4,5	9,0	1,5	36,0	13,2	35	30	24	0,8	1,2	15	5	10

Вариант 4

Здание I			Здание II			$x_1, \text{ м}$	$L_{\text{ф}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_1, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_2, \text{ м}^3/\text{с}$	$c_{CL\text{ф}}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CLI}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CL2}, \text{ мг/м}^3$	$t_{\text{yx}}, ^\circ\text{C}$	$t_0, ^\circ\text{C}$	$H, \text{ м}$	$D_1, \text{ м}$	$D_2, \text{ м}$	y_1	y_2	y_3
$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$															
115	21	20	80	25	15	55	142	5,55	8,2	1,2	35,0	12,5	25	20	22	1,0	1,2	15	5	10

Вариант 5

Здание I			Здание II			$x_1, \text{ м}$	$L_{\text{ф}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_1, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_2, \text{ м}^3/\text{с}$	$c_{CL\text{ф}}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CLI}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CL2}, \text{ мг/м}^3$	$t_{\text{yx}}, ^\circ\text{C}$	$t_0, ^\circ\text{C}$	$H, \text{ м}$	$D_1, \text{ м}$	$D_2, \text{ м}$	y_1	y_2	y_3
$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$															
105	25	23	90	18	14	60	136	3,2	7,5	1,3	34,5	13,5	27	22	25	0,9	1,0	15	5	10

Вариант 6

Здание I			Здание II			$x_1, \text{ м}$	$L_{\Phi}, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_1, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_2, \text{ м}^3/\text{с}$	$c_{CL\Phi}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CLI}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CL2}, \text{ мг/м}^3$	$t_{yx}, ^\circ\text{C}$	$t_0, ^\circ\text{C}$	$H, \text{ м}$	$D_1, \text{ м}$	$D_2, \text{ м}$	y_1	y_2	y_3
$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$															
112	23	19	95	22	15	70	132	3,0	9,5	1,5	32,0	13,0	28	23	21	0,8	1,0	15	5	10

Вариант 7

Здание I			Здание II			$x_1, \text{ м}$	$L_{\Phi}, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_1, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_2, \text{ м}^3/\text{с}$	$c_{CL\Phi}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CLI}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CL2}, \text{ мг/м}^3$	$t_{yx}, ^\circ\text{C}$	$t_0, ^\circ\text{C}$	$H, \text{ м}$	$D_1, \text{ м}$	$D_2, \text{ м}$	y_1	y_2	y_3
$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$															
110	24	18	90	18	16	50	136	4,2	9,5	1,4	33,0	12,5	29	24	20	0,7	1,4	15	5	10

Вариант 8

Здание I			Здание II			$x_1, \text{ м}$	$L_{\Phi}, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_1, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_2, \text{ м}^3/\text{с}$	$c_{CL\Phi}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CLI}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CL2}, \text{ мг/м}^3$	$t_{yx}, ^\circ\text{C}$	$t_0, ^\circ\text{C}$	$H, \text{ м}$	$D_1, \text{ м}$	$D_2, \text{ м}$	y_1	y_2	y_3
$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$															
105	25	15	75	20	14	55	138	3,0	8,0	1,5	34,0	12,8	35	30	17	0,9	1,1	15	5	10

Вариант 9

Здание I			Здание II			$x_1, \text{ м}$	$L_{\Phi}, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_1, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_2, \text{ м}^3/\text{с}$	$c_{CL\Phi}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CLI}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CL2}, \text{ мг/м}^3$	$t_{yx}, ^\circ\text{C}$	$t_0, ^\circ\text{C}$	$H, \text{ м}$	$D_1, \text{ м}$	$D_2, \text{ м}$	y_1	y_2	y_3
$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$															
100	20	20	70	18	15	58	138	3,2	8,2	1,4	35,0	12,5	32	27	22	0,8	1,2	15	5	10

Вариант 10

Здание I			Здание II			$x_1, \text{ м}$	$L_{\Phi}, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_1, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_2, \text{ м}^3/\text{с}$	$c_{CL\Phi}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CLI}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CL2}, \text{ мг/м}^3$	$t_{yx}, ^\circ\text{C}$	$t_0, ^\circ\text{C}$	$H, \text{ м}$	$D_1, \text{ м}$	$D_2, \text{ м}$	y_1	y_2	y_3
$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$															
110	18	16	65	20	12	59	137	2,72	8,0	1,5	33,0	13,2	30	25	18	0,9	1,4	15	5	10

Вариант 11

Здание I			Здание II			$x_1, \text{ м}$	$L_{\text{ф}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_1, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_2, \text{ м}^3/\text{с}$	$c_{CL\text{ф}}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CLI}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CL2}, \text{ мг/м}^3$	$t_{\text{yx}}, ^\circ\text{C}$	$t_0, ^\circ\text{C}$	$H, \text{ м}$	$D_1, \text{ м}$	$D_2, \text{ м}$	y_1	y_2	y_3
$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$															
120	20	18	70	25	14	60	136	2,8	7,8	1,6	34,0	12,5	34	29	22	0,7	1,2	15	5	10

Вариант 12

Здание I			Здание II			$x_1, \text{ м}$	$L_{\text{ф}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_1, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_2, \text{ м}^3/\text{с}$	$c_{CL\text{ф}}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CLI}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CL2}, \text{ мг/м}^3$	$t_{\text{yx}}, ^\circ\text{C}$	$t_0, ^\circ\text{C}$	$H, \text{ м}$	$D_1, \text{ м}$	$D_2, \text{ м}$	y_1	y_2	y_3
$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$															
90	23	16	75	23	12	65	138	2,9	8,0	1,4	34,5	13,0	35	30	18	0,8	1,4	15	5	10

Вариант 13

Здание I			Здание II			$x_1, \text{ м}$	$L_{\text{ф}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_1, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_2, \text{ м}^3/\text{с}$	$c_{CL\text{ф}}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CLI}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CL2}, \text{ мг/м}^3$	$t_{\text{yx}}, ^\circ\text{C}$	$t_0, ^\circ\text{C}$	$H, \text{ м}$	$D_1, \text{ м}$	$D_2, \text{ м}$	y_1	y_2	y_3
$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$															
95	24	18	80	24	14	70	136	2,7	9,5	1,6	36,0	15,0	36	31	20	0,9	1,2	15	5	10

Вариант 14

Здание I			Здание II			$x_1, \text{ м}$	$L_{\text{ф}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_1, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_2, \text{ м}^3/\text{с}$	$c_{CL\text{ф}}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CLI}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CL2}, \text{ мг/м}^3$	$t_{\text{yx}}, ^\circ\text{C}$	$t_0, ^\circ\text{C}$	$H, \text{ м}$	$D_1, \text{ м}$	$D_2, \text{ м}$	y_1	y_2	y_3
$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$															
105	26	22	75	22	13	78	139	2,77	7,5	1,4	35,0	16,0	38	33	24	0,8	1,4	15	5	10

Вариант 15

Здание I			Здание II			$x_1, \text{ м}$	$L_{\text{ф}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_1, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_2, \text{ м}^3/\text{с}$	$c_{CL\text{ф}}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CLI}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CL2}, \text{ мг/м}^3$	$t_{\text{yx}}, ^\circ\text{C}$	$t_0, ^\circ\text{C}$	$H, \text{ м}$	$D_1, \text{ м}$	$D_2, \text{ м}$	y_1	y_2	y_3
$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$															
115	24	24	80	23	14	82	143	4,5	8,2	1,6	34,8	15,5	32	27	26	1,1	1,4	15	5	10

Вариант 16

Здание I			Здание II			$x_1, \text{ м}$	$L_{\Phi}, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_1, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_2, \text{ м}^3/\text{с}$	$c_{CL\Phi}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CLI}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CL2}, \text{ мг/м}^3$	$t_{yx}, ^\circ\text{C}$	$t_0, ^\circ\text{C}$	$H, \text{ м}$	$D_1, \text{ м}$	$D_2, \text{ м}$	y_1	y_2	y_3
$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$															
120	23	22	85	24	12	76	142	3,5	7,2	1,55	35,5	17,0	28	23	24	1,0	1,2	15	5	10

Вариант 17

Здание I			Здание II			$x_1, \text{ м}$	$L_{\Phi}, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_1, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_2, \text{ м}^3/\text{с}$	$c_{CL\Phi}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CLI}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CL2}, \text{ мг/м}^3$	$t_{yx}, ^\circ\text{C}$	$t_0, ^\circ\text{C}$	$H, \text{ м}$	$D_1, \text{ м}$	$D_2, \text{ м}$	y_1	y_2	y_3
$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$															
125	24	18	79	20	14	78	140	4,2	7,0	1,6	36,0	16,5	25	20	20	1,2	1,6	15	5	10

Вариант 18

Здание I			Здание II			$x_1, \text{ м}$	$L_{\Phi}, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_1, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_2, \text{ м}^3/\text{с}$	$c_{CL\Phi}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CLI}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CL2}, \text{ мг/м}^3$	$t_{yx}, ^\circ\text{C}$	$t_0, ^\circ\text{C}$	$H, \text{ м}$	$D_1, \text{ м}$	$D_2, \text{ м}$	y_1	y_2	y_3
$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$															
130	25	20	80	21	15	76	142	3,8	6,5	1,4	35,5	14,5	36	31	22	1,2	1,5	15	5	10

Вариант 19

Здание I			Здание II			$x_1, \text{ м}$	$L_{\Phi}, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_1, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_2, \text{ м}^3/\text{с}$	$c_{CL\Phi}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CLI}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CL2}, \text{ мг/м}^3$	$t_{yx}, ^\circ\text{C}$	$t_0, ^\circ\text{C}$	$H, \text{ м}$	$D_1, \text{ м}$	$D_2, \text{ м}$	y_1	y_2	y_3
$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$															
126	27	18	75	22	16	85	137	4,1	6,5	1,3	34,8	14,8	39	34	20	1,1	1,4	15	5	10

Вариант 20

Здание I			Здание II			$x_1, \text{ м}$	$L_{\Phi}, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_1, \text{ м}^3/\text{с}$	$L_2, \text{ м}^3/\text{с}$	$c_{CL\Phi}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CLI}, \text{ мг/м}^3$	$c_{CL2}, \text{ мг/м}^3$	$t_{yx}, ^\circ\text{C}$	$t_0, ^\circ\text{C}$	$H, \text{ м}$	$D_1, \text{ м}$	$D_2, \text{ м}$	y_1	y_2	y_3
$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$H_{3\text{д}}, \text{ м}$															
128	25	19	68	21	12	81	140	3,7	7,5	1,35	35,2	15,3	37	32	21	1,4	1,3	15	5	10

Пример программы расчета на ЭВМ

```
'Задание 2
DECLARE SUB ssl (otl, kLf)
DECLARE SUB ss2 (otl, kLt)
DIM SHARED otm1(1 TO 9), kL1(1 TO 9)
DIM SHARED otm2(1 TO 10), kL2(1 TO 10)
CLS
'*****Ввод исходных данных*****
CONST pi = 3.14, Cp = 1250
Lz1=100: bz1=24: hz1=18: Lz2=70: bz2=18: hz2=12
X1=40: Lf=139: L1=2.77: L2=7: Cf=1.4: CL1=34: CL2=12.8
ty = 35: t0 = 30: h = 20: d1 = .8: d2 = 1.2: y1 = 15
y2 = 5: y3 = 10

'Данные таблицы 2.2
DATA 2,3,4,5,6,7,8,9,10
DATA 0.9,1,1.15,1.3,1.45,1.65,1.8,2.1,2.2
'Данные таблицы 1.4
DATA 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10
DATA 1.2,1.3,1.5,1,0.8,0.65,0.5,0.35,0.28,0.23
'*****
'Чтение данных таблицы 2.2 (заданных в операторе DATA)
FOR i = 1 TO 9: READ otm1(i): NEXT i
FOR i = 1 TO 9: READ kL1(i): NEXT i
'Чтение данных таблицы 1.4 (заданных в операторе DATA)
FOR i = 1 TO 10: READ otm2(i): NEXT i
FOR i = 1 TO 10: READ kL2(i): NEXT i
PRINT "*****Фонарь*****"
q = Lf / 100 * Cp * (ty - t0) / 1000
PRINT "Тепло, уходящее через фонарь, кВт Q = "; q
otl = Lz1 / hz1
razn = otl - INT(otl)
IF razn <> 0 THEN otl = INT(otl) + 1
PRINT "Относительная длина здания otl= "; otl
CALL ssl(otl, kLf)
PRINT "Коэффициент, учитывающий размеры здания klf="; kLf
KCL = Lf * Cf / Lz1
PRINT"Количество хлора, выбрасываемого через фонарь KCL=";KCL;
Cmf = 2.9*kLf*KCL/(2.25*q^(1/3)*hz1^(2/3)+2.9*kLf*Lf)
PRINT "Максимальная концентрация CL, Cmf="; Cmf
Cvz3 = .6 * Cmf
```

```

PRINT "Концентрация в точке 3 Cvz3= "; Cvz3
PRINT "X1/Hz1="; X1 / hz1
INPUT "Введите C/Cm"; ot2
PRINT "C/Cm="; ot2
Cvz4 = Cmf * ot2
PRINT "Концентрация на воздухозаборе в точке 4 ="; Cvz4
INPUT "Для продолжения нажмите ENTER"; ent
CLS
PRINT "*****Труба 1*****"
W01 = 4 * L1 / pi / (d1 ^ 2)
PRINT "Скорость ГВС на выходе из трубы 1, W01= "; W01
PRINT "W01*D1="; W01 * d1
PRINT "Относительная длина здания ot1= "; ot1
CALL ss2(ot1, kLt)
M1 = L1 * CL1
PRINT "Количество CL, удаляемого трубой 1, M1="; M1
PRINT "Hz1="; hz1
INPUT "Введите Cyd1"; Cyd1
PRINT "Cyd1="; Cyd1
cmt1 = Cyd1 * kLt * M1
PRINT "Максимальная конц-я хлора в приземном воздухе, cmt1="; cmt1
PRINT "равная концентрации на расстоянии 3*Hz1="; 3*hz1; "м"
C1 = .6 * cmt1
PRINT "Концентрация CL на заветренной стороне здания 1, C1="; C1
y12 = y1 + y2
x3 = 1.4 * Lz1 + bz1
PRINT "X3="; x3,
PRINT "Y12="; y12
S1 = EXP(-30 * y12 ^ 2 / x3 ^ 2)
PRINT "S1 расчетная="; S1
C13 = C1 * S1
PRINT "Концентрация CL в точке 3 c13="; C13
x4 = 1.4 * Lz1 + bz1 + X1
y123 = y1 + y2 + y3
PRINT "x4="; x4; " y123="; y123
S4 = EXP(-30 * y123 ^ 2 / x4 ^ 2)
PRINT "S4 расчетная="; S4
C14 = cmt1 * S4
PRINT "Концентрация CL в точке 4 c14="; C14
INPUT "Для продолжения нажмите ENTER"; ent
CLS

```

```

PRINT "*****Труба 2*****"
W02 = 4 * L2 / pi / d2 ^ 2
PRINT "Скорость ГВС на выходе из трубы 2 W02="; W02
PRINT "Произведение W02*d2="; W02 * d2
PRINT "Относительная длина здания ot1="; ot1
CALL ss2(ot1, kLt)
INPUT "Введите Cyd2"; Cyd2
PRINT "Cyd2="; Cyd2
M2 = L2 * CL2
PRINT "Количество CL, удаляемого трубой 2 M2 = "; M2
cmt2 = Cyd2 * kLt * M2
PRINT"Максимальная концентрация CL в приземном слое cmt2=";cmt2
c2 = .6 * cmt2
PRINT"Конц-ция по оси выбросов на зав. стороне здания 1 C2=";c2
PRINT "x3="; x3, "y2="; y2
S2 = EXP(-30 * y2 ^ 2 / x3 ^ 2)
PRINT "S2 расчетная ="; S2
C23 = S2 * c2
PRINT "Концентрация в точке 3 C23="; C23
PRINT "x4="; x4,
PRINT "y123="; y123
S3 = EXP(-30 * y123 ^ 2 / x4 ^ 2)
PRINT "S3 расчетная ="; S3
C24 = cmt2 * S3
PRINT "Концентрация в точке 4, C24="; C24

INPUT "Для продолжения нажмите ENTER"; ent
CLS
PRINT , "Расчетная концентрация хлора"
PRINT "Источник выброса", "Точка 3", , "Точка 4"
PRINT "Фонарь", , Cvz3, Cvz4
PRINT "Труба 1", , C13, , C14
PRINT "Труба 2", , C23, , C24
PRINT "Итого", , C13 + C23, , C14 + C24
END

SUB ss1 (ot1, kLf)
'Нахождение kLf из таблицы 2.2
FOR i = 1 TO 9
IF otml(i) = ot1 THEN kLf = kLl(i)
NEXT i
END SUB

```



```

SUB ss2 (ot1, kLt)
'Нахождение KLT из таблицы 1.4
FOR i = 1 TO 10
IF otm2(i) = ot1 THEN kLt = kL2(i)
NEXT i
PRINT "kLt="; kLt
END SUB

```

Результаты расчета

*****Фонарь*****

Тепло, уходящее через фонарь, кВт $Q = 8.6875$
Относительная длина здания $ot1 = 6$
Коэффициент, учитывающий размеры здания, $k_{lf} = 1.45$
Количество хлора, выбрасываемого через фонарь, $KCL = 1.946$
Максимальная концентрация CL , $C_{mf} = .0132783$
Концентрация в точке 3 $C_{vz3} = 7.966979E-03$
 $X1/Hz1 = 2.2222$
 $C/C_m = 1$
Концентрация на воздухозаборе в точке 4 = $.0132783$

*****Труба 1*****

Скорость ГВС на выходе из трубы 1, $W01 = 5.513535$
 $W01 \cdot D1 = 4.410828$
Относительная длина здания $ot1 = 6$
 $kLt = .65$
Количество CL , удаляемого трубой 1, $M1 = 94,18$
 $H_{z1} = 18$
 $C_{yd1} = .0055$
Максимальная конц-ция хлора в приземном воздухе $C_{mt1} = .3366935$,
равная концентрации на расстоянии $3 \cdot H_{z1} = 54$ м
Концентрация CL на заветренной стороне здания 1, $C1 = .2020161$
 $x3 = 164$ $y12 = 20$
 $S1$ расчетная = $.6400794$
Концентрация CL в точке 3 $c13 = .1293063$
 $x4 = 204$ $y123 = 30$
 $S4$ расчетная = $.5226784$
Концентрация CL в точке 4 $c14 = .1759824$

*****Труба 2*****

Скорость ГВС на выходе из трубы 2 $W02 = 6.192498$
Произведение $W02 \cdot d2 = 7.430997$

Относительная длина здания $ot1=6$
 $kLt= .65$
 $Cyd2= .0033$
 Количество CL, удаляемого трубой 1, $M2= 89.6$
 Максимальная концентрация CL в приземном слое $Cmt2= .192192$
 Конц-ция по оси выбросов на зав. стороне здания 1 $C2= .1153152$
 $x3= 164$ $y2=5$
 $S2$ расчетная = $.9725$
 Концентрация в точке 3 $C23= .112144$
 $x4= 204$ $y123=30$
 $S3=$ расчетная = $.5226784$
 Концентрация в точке 4 $C24= .1004546$

Расчетная концентрация CL		
Источник выбросов	Точка 3	Точка 4
Фонарь	7.966979E-03	.0132783
Труба 1	.1293063	.1759824
Труба 2	.112144	.1004546
Итого	.2414504	.276437

Вопросы для самоконтроля

1. Как определить, являются ли узкие здания смежными или отдельно стоящими?
2. Что такое узкое здание?
3. Какова классификация зданий?
4. Каков порядок расчета выбросов из линейного источника?
5. Каков порядок расчета выбросов из точечных источников, отдельно из каждого и при их совместном действии?
6. Что такое наветренная зона?
7. Что такое заветренная зона?
8. Какова классификация зданий примерно равной высоты?
9. Что такое единая циркуляционная зона?
10. Что такое широкое здание?
11. Что такое смежные здания?
12. Что такое точечный источник выброса?
13. Что такое линейный источник выброса?
14. Каков порядок расчета выбросов из линейного и точечных источников по программе?

ГЛАВА 3

РАСЧЕТ РАССЕИВАНИЯ ХЛОРА ОТ НЕЗАТЕНЕННОГО ХОЛОДНОГО ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА

Цель работы: освоить современные методики расчетов рассеивания вредных веществ от незатененного холодного точечного источника по формулам, номограммам (рисункам в приложении), а также на ЭВМ, построение зон подпора, аэродинамической тени, научиться анализировать экологическую обстановку, давать рекомендации по улучшению экологической обстановки.

Классификация источников выброса вредных веществ в атмосферу.

Источники загрязнения воздушного пространства могут быть классифицированы по следующим признакам:

1. По *назначению*: а) *технологические*, содержащие хвостовые газы после установок улавливания (рекуперации, абсорбции, адсорбции и т.п.), продувки аппаратов, воздушников и др. Для этих выбросов характерны концентрации вредных веществ и сравнительно малые объемы удаляемого воздуха; б) *вентиляционные* выбросы – местные отсосы от оборудования и общеобменная вытяжка.

2. По *месту расположения*: а) *незатененные*, или *высокие*, находящиеся в зоне недосформированного ветрового потока. К этим источникам относятся высокие трубы, а также точечные источники, удаляющие вредные вещества на высоту, превышающую $2,5 H_{зд}$; б) *затененные*, или *низкие*, расположенные в зоне подпора или в зоне аэродинамической тени, образующейся на здании или за ним (в результате обдувания его ветром) на высоте $h \leq 2,5 H_{зд}$. Следует отметить, что все источники выбросов, расположенные на крыше в зоне аэродинамической тени, если они снабжены зонтами, гасящими скорость на выходе, всегда относятся к классу низких. Типичными представителями этого класса являются вытяжные шахты с зонтами и дефлекторами и крышные вентиляторы; в) *наземные*, находящиеся за пределами зданий вблизи земной поверхности. К этим источникам относятся открыто расположенное технологическое оборудование, имеющее много разъемных соединений или большое число запорной и регулирующей аппаратуры, а также аппараты, полости которых периодически сообщаются с атмосферой; колодцы производственной канализации; пролитые токсичные вещества; сбросы отходов производства и другие сбросы, рассеивание вредных веществ от которых происходит стелющимся потоком вблизи земли.

3. По *геометрической форме*: а) *точечные*, когда удаляемые загрязнения сосредоточены в одном месте. К этим источникам относятся выбросные трубы, шахты, крышные вентиляторы и другие близко расположенные источники, вредные вещества из которых при рассеивании в циркуляционной зоне не накладываются одно на другое на расстоянии двух высот здания от его заветренной стены; б) *линейные*, имеющие значительную протяженность в направлении, перпендикулярном ветру. К ним относятся аэрационные фона-

ри, открытые окна, близко расположенные вытяжные шахты и крышные вентиляторы, факелы выбросов из которых накладываются один на другой на расстоянии от заветренной стены здания менее двух его высот.

4. По *режиму работы*: а) *непрерывного действия*, работающие продолжительное время с мало изменяющейся интенсивностью. К ним относятся выбросы от постоянно действующих технологических установок, местные отсосы вытяжной вентиляции, общеобменная вытяжка, линейные и наземные источники. Подавляющее число источников в химической промышленности являются непрерывно действующими; б) *периодического действия*, работающие непродолжительное время с большими перерывами. К ним относятся продувки аппаратов, периодически выключаемые местные отсосы, заблокированные с загрузочными отверстиями аппаратов, или с системами их опорожнения и т.п.; в) *залповые*, когда в короткий промежуток времени в воздух удаляется большое количество вредных веществ, распространяющихся в виде облака или стелющегося потока. В большинстве случаев такие выбросы происходят при аварийных ситуациях, связанных с нарушением технологических процессов, когда в результате внезапного резкого повышения температуры и давления из аппарата выбрасывается продукт. Залповые выбросы возможны при сжигании быстрогорящих отходов производства на специальных площадках уничтожения; г) *мгновенные*, когда выброс происходит в доли секунды на некоторую (значительную) высоту. Загрязнения распространяются в виде облака. Такие выбросы могут происходить при взрывных работах, и тогда они относятся к запланированным, или при аварийных ситуациях, т.е. характеризуются уже как аварийные.

5. По *дальности распространения*: а) *внутриплощадные*, когда выбрасываемые в атмосферу загрязнения создают высокие концентрации только на территории промплощадки, а в жилом районе ощутимых загрязнений не наблюдается. Как правило, к внутриплощадным относятся сравнительно маломощные источники вентиляционных выбросов общеобменной вентиляции и некоторые источники выбросов местной вытяжной вентиляции. Внутриплощадные выбросы предполагают наличие достаточных размеров санитарно-защитной зоны, характерной для химической промышленности; б) *внеплощадочные*, когда выбрасываемые в атмосферу загрязнения потенциально способны создавать высокие концентрации (порядка ПДК для воздуха населенных пунктов) на территории жилого района. К внеплощадным источникам загрязнения относится подавляющее большинство выбросов от технологического оборудования, содержащих большие количества вредных веществ, удаляемых через высокие трубы.

3.1 Порядок расчета

Объем удаляемой ГВС L (м³/ч). Количество хлора, всасываемого в атмосферу M (мг/с). Район выброса – центральная часть Европы. Коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы, A . Заданная

высота выброса H (м). Диаметр трубы D (м).

Требуется определить максимальную концентрацию в приземном воздухе паров хлора и расстояние от трубы, на котором концентрация хлора будет максимальной x_m , а также концентрацию на расстоянии x (м) и y (м). Расчет ведем по нижеперечисленным формулам.

Скорость ГВС в устье трубы

$$w_0 = \frac{4 \cdot L}{\pi \cdot D^2}.$$

Величина

$$v_m = 1,3 \cdot \frac{w_0 \cdot D}{H}. \quad (3.1)$$

Величина

$$k = \frac{D}{8 \cdot L}.$$

Безразмерный коэффициент $n = 3$ (const). Безразмерный коэффициент $F = 1$ (для газов).

Максимальная концентрация хлора в приземном воздухе (мг/м³)

$$c_m = \frac{A \cdot F \cdot M_1 \cdot n \cdot k}{H^{4/3}}. \quad (3.2)$$

Опасная скорость ветра $u_m = 0,5$ м/с (const).

Безразмерный коэффициент

$$d = 11 \cdot v_m. \quad (3.3)$$

Расстояние от трубы до точки, на которой концентрация хлора будет максимальной

$$x_m = d \cdot H. \quad (3.4)$$

Концентрация хлора (мг/м³) на расстоянии x (м) от источника по оси выброса составит $c_x = S_1 \cdot c_m$, где

$$S_1 = \frac{1,13}{0,13 \cdot \frac{x}{x_m}^2 + 1}. \quad (3.5)$$

Концентрация хлора на расстоянии y (м) составит

$$c_y = S_2 \cdot c,$$

где

$$S_2 = \frac{1}{\left[1 + 8,4 \cdot u_m \cdot \frac{y}{x^2}\right] \cdot \left[1 + 28,2 \cdot u_m^2 \cdot \frac{y}{x^4}\right]}. \quad (3.6)$$

Таблица 3.1 – Исходные данные для расчета

№ п/п	D , м	H , м	A	L , м ³ /с	M_1 , г/с	x , м	y , м
1	1,0	40	140	8,0	0,08	$2,5 \cdot x_m$	28
2	0,9	42	160	7,5	0,07	$2,0 \cdot x_m$	31
3	0,8	38	150	8,2	0,095	$1,8 \cdot x_m$	30
4	0,7	36	145	8,4	0,1	$1,6 \cdot x_m$	32
5	0,5	35	160	8,6	0,15	$1,5 \cdot x_m$	30
6	0,6	34	180	8,8	0,17	$1,2 \cdot x_m$	34
7	0,8	38	145	8,9	0,15	$1,1 \cdot x_m$	35
8	0,9	36	160	9,0	0,16	$1,2 \cdot x_m$	38
9	1,0	35	190	8,5	0,12	$1,5 \cdot x_m$	30
10	1,1	38	200	7,2	0,05	$1,6 \cdot x_m$	32
11	1,2	37	220	7,4	0,06	$1,7 \cdot x_m$	34
12	1,4	32	240	7,5	0,07	$1,8 \cdot x_m$	36
13	1,5	33	230	7,6	0,08	$2,5 \cdot x_m$	38
14	1,6	35	200	7,7	0,09	$3,0 \cdot x_m$	42
15	1,8	48	190	7,9	0,1	$2,8 \cdot x_m$	45
16	1,2	42	180	7,8	0,12	$1,5 \cdot x_m$	48
17	1,0	44	170	8,0	0,15	$2,0 \cdot x_m$	50
18	0,9	34	150	8,1	0,06	$2,2 \cdot x_m$	42
19	0,8	32	120	8,5	0,08	$2,0 \cdot x_m$	25

Таблица 3.2 – Список идентификаторов

Обозначение в тексте	Идентификатор
π	π_i
Объем удаляемой ГВС, L	L
Массовый расход хлора, M_1	$M1$
Коэффициент стратификации атмосферы, A	A
Высота выброса, H	h
Диаметр источника выброса, D	D
Расстояние, на котором определяется концентрация, x	x_k
Расстояние, на котором определяется концентрация, y	y
Опасная скорость ветра, u_m	U_m
Скорость ГВС в устье трубы, w_0	$W0$
Максимальная концентрация хлора в приземном воздухе, c_m	C_m

Продолжение таблицы 3.2

Безразмерный коэффициент, d	dk
Расстояние от трубы до точки, на которой концентрация хлора будет максимальной, x_m	xm
Расстояние от источника по оси выброса, x	x
Концентрация хлора на расстоянии от источника по оси выброса, c	cx
Концентрация хлора на расстоянии y , c_y	cy

Пример программы для расчета на ЭВМ

```
'Задание 3
CLS
'*****Ввод исходных данных*****
CONST pi = 3.14
L = 7: M1 = .09: A = 120: h = 45: D = 1.2: xk = 2: y = 30
n = 3: f = 1: Um = .5
'*****
'Расчет
W0 = 4 * L / pi / D ^ 2
Vm = 1.3 * W0 * D / h
k = D / 8 / L
Cm = A * M1 * f * n * k / h ^ (4 / 3)
dk = 11 * Vm
xm = dk * h
x = xk * xm
s1 = 1.13 / (.13 * (x / xm) ^ 2 + 1)
cx = s1 * Cm
s2 = 1 / ((1+8.4*Um*(y/x)^2)*(1+28.2* Um ^2*(y/x)^4))
cy = s2 * cx
PRINT "Результаты расчета"
PRINT "Скорость ГВС в устье трубы W0="; W0
PRINT "Вспомогательная величина Vm="; Vm
PRINT "Коэффициент K="; k
PRINT "Коэффициент n="; n
PRINT "Коэффициент f="; f
PRINT "Макс. концентрация хлора в приземном воздухе Cm="; Cm
PRINT "Опасная скорость ветра Um="; Um
PRINT "Коэффициент dk="; dk
PRINT "Расстояние от трубы до точки, где C максимальна xm="; xm
PRINT "Расстояние от источника по оси выброса x="; x
PRINT "Коэффициент s1="; s1
PRINT "Концентрация хлора на расстоянии x="; x; "м, cx="; cx
PRINT "Коэффициент s2="; s2
```

```
PRINT "Концентрация хлора на расстоянии y="; y; "м, cy="; cy  
END
```

Результаты выполнения программы

Скорость ГВС в устье трубы $W0=6.192498$
Величина $Vm= .2146733$
Коэффициент $K= 2.142857E-02$
Коэффициент $n= 3$
Коэффициент $f= 1$
Макс. концентрация хлора в приземном воздухе $Cm= 4.337654E-03$
Опасная скорость ветра $Um= .5$
Коэффициент $dk= 2.361406$
Расстояние от трубы до точки, где C максимальна $xm= 106.2633$
Расстояние от источника по оси выброса $x= 212.5265$
Коэффициент $s1= .7434211$
Концентрация хлора на расстоянии $x= 212.5265$ м, $cx= 3.224703E-03$
Коэффициент $s2= .9227744$
Концентрация хлора на расстоянии $y= 30$ м, $cy= 2.975674E-03$

Вопросы для самоконтроля

1. Какие бывают по назначению источники загрязнения воздушного пространства?
2. Какие бывают по месту расположения источники загрязнения воздушного пространства?
3. Какие бывают по геометрической форме источники загрязнения воздушного пространства?
4. Какие бывают по режиму работы источники загрязнения воздушного пространства?
5. Какие бывают по дальности распространения источники загрязнения воздушного пространства?
6. Что такое высокий точечный источник загрязнения воздушного пространства?
7. Что такое низкий точечный источник загрязнения воздушного пространства?
8. Что такое граница низких источников загрязнения воздушного пространства и как она определяется?
9. Как определяется граница низких источников загрязнения для смежных зданий?
10. Что такое межкорпусная зона двух смежных зданий?
11. Что такое единая циркуляционная зона?
12. Каков порядок расчета вредных выбросов по программе?

ГЛАВА 4

РАСЧЕТ РАССЕЙВАНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ОТ ОТДЕЛЬНО СТОЯЩЕГО ШИРОКОГО ЗДАНИЯ С ТОЧЕЧНЫМ ИСТОЧНИКОМ В НАВЕТРЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ ЗОНЕ

Цель работы: освоить современные методики расчетов рассеивания вредных веществ от отдельно стоящего широкого здания с точечным источником в наветренной циркуляционной зоне по формулам, номограммам (рисункам в приложении), а также на ЭВМ, построение зон аэродинамической тени, подпора, уметь классифицировать здания, научиться анализировать экологическую обстановку и находить пути решения проблем загрязнения воздушного бассейна.

Существуют различные методики или подходы к определению высоких и низких точечных источников. По методике [4], если устье точечного источника находится выше $2,5 \cdot H_{\text{зд}}$ или если скорость газовой смеси (ГВС) на выходе из трубы позволяет удалить загрязнения на высоту более $2,5 \cdot H_{\text{зд}}$, то такой источник относится к классу *высоких*.

По методике [1], для отдельно стоящих или двух смежных зданий *низкими* считаются точечные и линейные источники, вредные вещества которых загрязняют наветренную и заветренную циркуляционные зоны широкого здания, единую циркуляционную зону узкого здания или межкорпусную циркуляционную зону двух смежных зданий.

Граница низких источников $H_{\text{гр}}$ (рис. 4.1) при их размещении на крыше соответственно узкого, широкого отдельно стоящего здания или на крыше первого по потоку двух смежных зданий определяется по следующим формулам:

для узких зданий

$$H_{\text{гр}} \leq 0,36 \cdot b_3 + 2,5 \cdot H_{\text{зд}} \quad (4.1)$$

для широких зданий

$$H_{\text{гр}} \leq 0,36 \cdot b_3 + 1,7 \cdot H_{\text{зд}} \quad (4.2)$$

для смежных зданий

$$H_{\text{гр}} \leq 0,36 \cdot (b_3 + x_1) + H'_{\text{зд}}, \quad (4.3)$$

где b_3 – расстояние от источника до заветренной стены, м; $H'_{\text{зд}}$ – высота второго по потоку здания для рассматриваемой межкорпусной зоны, м.

При расположении источников за зданием в пределах циркуляционных зон в формулах (4.1), (4.2), (4.3) следует принимать $b_3 = -x_n$, где x_n – расстояние от заветренной стены здания до источника, расположенного в пределах циркуляционных зон. Источники, вредные вещества из которых удаляются на высоте, равной или превышающей границу низких выбросов, относятся к высоким. При этом может оказаться, что источник, определенный для данной циркуляционной

зоны как высокий, для последующих зданий в направлении ветра окажется низким. В этом случае создаваемые этим источником концентрации примесей [1] должны рассматриваться как *фоновые* для соответствующей циркуляционной зоны и рассчитываться как высокие источники.

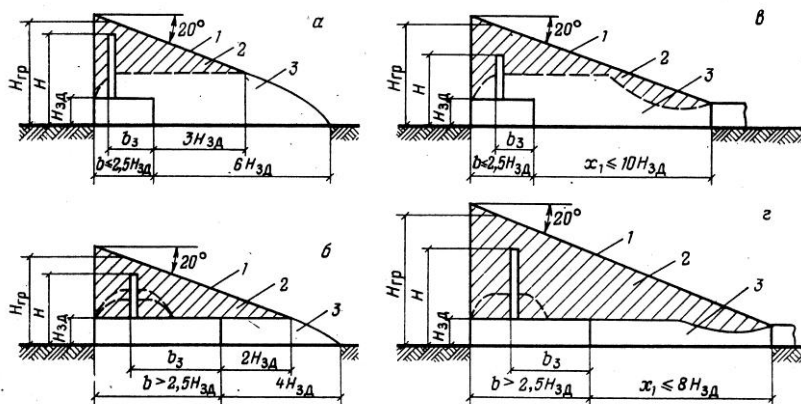


Рисунок 4.1 – Граница низких источников для зданий:

- а – узкого; б – широкого; в – группы зданий, когда узкое здание расположено первым по потоку; г – группы зданий, когда широкое здание расположено первым по потоку;
 1 – граница низких источников; 2 – область размещения низких внешних источников;
 3 – область размещения низких внутренних источников

Анализ сравнения границы низких выбросов, определяемых по методике [4], и по формулам (4.1) - (4.3), при размещении точечного источника по ширине крыши в начале, середине и в конце здания показывает, что даже для отдельно стоящих узких и широких зданий границей низких источников при $b_3 = 0$ следует принимать $3,4 - 3,5 H_{зд}$, так как при изменении направления ветра на противоположное наихудшим станет именно это размещение, поскольку источник окажется в точке $b_3 = b$.

Как по конструктивным, так и по архитектурным соображениям размещение на крыше здания труб, высота которых в несколько раз превышает высоту здания, является невозможным. Поэтому такие трубы следует располагать отдельно стоящими вблизи зданий либо в межкорпусном пространстве. Для смежных зданий значения $H_{гр}$ соответственно равны $4,78 H_{зд}$ - для узкого здания и $5,67 H_{зд}$ - для широкого. Как видно из ранее рассмотренных рисунков, загрязнения от точечных источников, удаляемые выше границы зоны следа, не попадают в зону аэродинамической тени, и поэтому такие точечные источники должны рассматриваться как высокие. На высоте $2,5 H_{зд}$

скорость ветра достигает 95 % скорости в первичном (не возмущенном зданием) потоке, и рассеивание вредных веществ будет происходить аналогично рассеиванию при высоком источнике.

Расстояния между зданиями на территории предприятия диктуются не только противопожарными условиями, но и шириной проездов, расположением коммуникаций и другими условиями, при которых здания, имеющие сравнительно малую высоту, оказываются отдельно стоящими, а высокие здания – смежными. Если смежные здания имеют высоту $H_{зд} = 20$ м, то расположенный около них точечный источник должен иметь высоту не менее $20 \times 5,67 = 113,4$ м, в этом случае он будет считаться высоким. При меньшей высоте он будет классифицироваться как низкий.

4.1 Порядок расчета

На здании (рис. 4.2) длиной l (м), шириной b (м) и высотой $H_{зд}$ (м) в наветренной зоне расположена труба диаметром D (м) и высотой $H_{зд}$ (м), через которую удаляется ГВС в объеме L ($\text{м}^3/\text{ч}$), содержащая толуол – M , ($\text{мг}/\text{с}$). Требуется определить концентрацию паров толуола на заветренной стене здания по оси источника в направлении ветра, на воздухозаборе, расположенном на заветренной стене на удалении y (м) от оси источника, и на расстоянии x (м) от оси источника в направлении ветра.

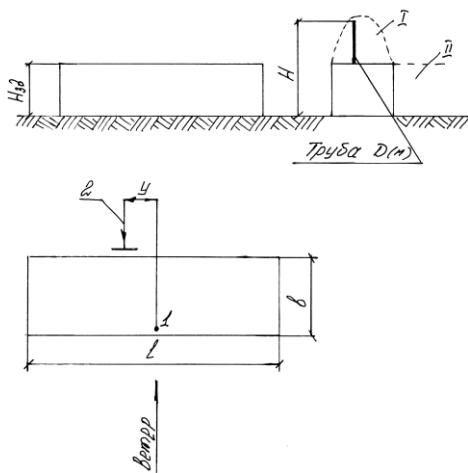


Рисунок 4.2 – Схема расположения точечного источника и воздухозабора в отдельно стоящем широком здании: I – наветренная циркуляционная зона; II – заветренная циркуляционная зона; 1 – точечный источник; 2 – воздухозабор

Находим отношение ширины здания к его высоте: если $b/H_{\text{зд}} > 2,5$, то здание широкое; если $l/H_{\text{зд}} > 10$, то здание длинное. Ближайшее соседнее здание расположено от заветренной стены на расстоянии x_1 (м); если $x_1/H_{\text{зд}} > 8$, здание отдельно стоящее.

Рассеивание загрязнений, удаляемых через точечный источник, расположенный в наветренной зоне отдельно стоящего широкого здания, рассчитывается по следующим формулам.

Скорость ГВС на выходе из трубы

$$w_0 = \frac{L}{\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot 3600} . \quad (4.4)$$

Относительное превышение трубы $\bar{H} = H - H_{\text{зд}} / H_{\text{зд}}$. По рисунку ПЗ этой величине соответствуют коэффициент скорости ϕ и параметр B .

Опасная скорость ветра

$$u_m = \frac{3.8 \cdot D \cdot w_0}{\phi \cdot H_{\text{зд}}} \cdot B . \quad (4.5)$$

Концентрация загрязняющих веществ в приземном воздухе заветренной зоны здания у заветренной стены

$$c = \frac{5.6 \cdot m \cdot M}{n_c \cdot u_m \cdot l \cdot H_{\text{зд}}} \cdot S_1 . \quad (4.6)$$

В рассматриваемом случае ветер направлен перпендикулярно длинной стороне здания. Для заветренной зоны широкого отдельно стоящего здания безразмерный коэффициент заноса примесей m определяется по рис. 4.3.

Безразмерный коэффициент для отдельно стоящего здания $n_c = 1$.

Вспомогательная безразмерная величина S_1 позволяет определить концентрацию вредных веществ в любой точке заветренной или межкорпусной зонах при заданных u и S_1 .

Значение коэффициента S_1 при заданном значении u определяется по формуле

$$S_1 = \exp \frac{-30y^2}{1.4l + b + x}^2 . \quad (4.7)$$

Воздухозабор расположен на заветренной стене.

Концентрация на воздухозаборе, (мг/м³)

$$c_b = c \cdot S_1 . \quad (4.8)$$

Концентрация по оси источника в направлении ветра на расстоянии x определяется по формуле

$$c = \frac{15 \cdot M}{u \cdot l \cdot b + x} \cdot S_1, \tag{4.9}$$

при этом $u = u_m$. Концентрация определяется по оси струи в направлении ветра, при этом $S_1 = 1$.

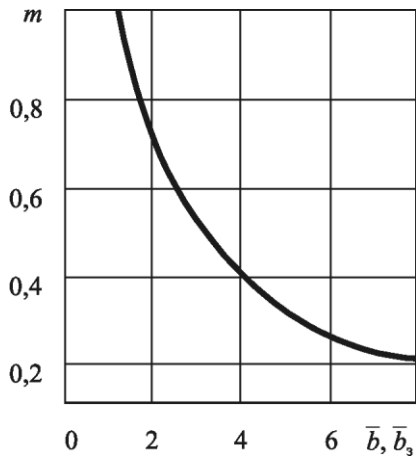


Рисунок 4.3 – График для определения коэффициента заноса примесей в заветренную зону отдельно стоящего широкого здания от точечных и линейных источников. Ось перпендикулярна направлению ветра (коэффициент m)

Нормами [3] установлены следующие значения ПДК для толуола: 0,6 мг/м³ в атмосферном воздухе населенных пунктов, 50 мг/м³ в воздухе рабочей зоны и 15 мг/м³ на воздухозаборе.

Из проведенного расчета необходимо определить, превышает ли концентрация толуола в пределах промышленной территории уровень ПДК.

Таблица 4.1 – Исходные данные для расчета

№ п/п	l , м	b ,м	$H_{зд}$, м	D , м	H , м	$L \cdot 10^{-3}$ м ³ /ч	M , мг/с	y , м	x , м	x_1 , м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	75	19	8	0,9	10	14	1400	6	45	65
2	80	20	9	1,0	11	15	1500	8	50	78
3	65	16	5	1,0	7	15	1500	6	40	50
4	70	16	6	0,8	8	13	1300	5	45	62

Продолжение таблицы 4.1

5	77	18	9	0,8	11	12	1200	4	40	70
6	78	19	11	0,9	13	17	1500	6	50	110
7	72	16	8	1,0	10	18	1800	8	60	80
8	74	18	10	1,2	12	19	1900	10	77	100
9	75	19	12	0,8	14	20	1200	8	60	110
10	76	18	14	0,9	16	18	1500	6	50	135
11	78	16	12	1,0	14	17	1400	10	70	125
12	75	16	14	1,2	16	12	1500	6	50	138
13	55	20	9	1,0	11	15	1200	8	60	90
14	60	17	8	0,8	10	14	1500	6	60	80
15	64	16	6	0,9	8	16	1400	4	40	60
16	67	17	5	1,0	7	13	1200	6	40	50
17	70	15	6	1,4	8	22	1500	12	70	62
18	74	18	9	1,6	11	20	1400	10	60	92
19	76	16	6	1,2	8	16	1450	7	70	65

Таблица 4.2 – Список идентификаторов

Обозначение в тексте	Идентификатор
Длина здания, l	L
Ширина здания, b	b
Высота здания, $H_{зд}$	Hzd
Диаметр источника выброса, D	d
Высота источника выброса, H	H
Объем ГВС, L	L1
Массовый расход толуола, M	M
Расстояние от оси источника, y	Y
Расстояние от оси источника, x	x
Скорость ГВС на выходе из трубы, w_0	W0
Опасная скорость ветра, u_m	um
Концентрация загрязняющих веществ в приземном воз-	c
Концентрация на воздухозаборе, c_b	cb
Концентрация по оси источника в направлении ветра, c	ci

Пример программы расчета на ЭВМ

```
'Задание 4
CLS
'*****Ввод исходных данных*****
CONST pi = 3.14
L=72: b=18: Hzd=6: d=.8: H=8: L1=12: M=1200
Y = 4: x = 40: nc = 1
'*****
W0 = L1 * 10 ^ 3 * 4 / pi / d ^ 2 / 3600
Hotn = (H - Hzd) / Hzd
PRINT "Результаты расчетов"
PRINT "Скорость ГВС на выходе из трубы w0="; W0
PRINT "Относительное превышение трубы Hotn="; Hotn
INPUT "Введите fi"; fi
INPUT "Введите bk"; bk
um = 3.8 * d * W0 * bk / fi / Hzd
b1 = b / Hzd
PRINT "Коэффициент fi="; fi; "Параметр bk="; bk
PRINT "Опасная скорость ветра Um="; um
PRINT "Коэффициент b1="; b1
INPUT "Введите m1"; m1
u = um
s1 = EXP(-30 * 4 ^ 2 / (1.4 * L + b + x) ^ 2)
c = 5.6 * m1 * M * s1 / nc / u / L / Hzd
cb = c * s1
ci = 15 * M * s1 / u / L / (b + x)
PRINT "Коэффициент заноса примесей m1="; m1
PRINT "Коэффициент S1="; s1
PRINT "Конц. загр. веществ в зав. зоне здания c="; c
PRINT "Концентрация на воздухозаборе cb="; cb
PRINT "Конц. по оси источника в направлении ветра ci="; ci
END
```

Результаты расчета

Скорость ГВС на выходе из трубы w0= 6.634819
Относительное превышение трубы Hotn= 0.3333333
Коэффициент fi= 1.05 Параметр bk= 0.68
Опасная скорость ветра Um= 2.177063
Коэффициент b1= 3
Коэффициент заноса примесей m1= 0.5
Коэффициент S1= 0.9811456
Концентрация на воздухозаборе cb= 3.439152

Конц. по оси источника в направлении ветра $c_i = 1,94256$

Вопросы для самоконтроля

1. По каким признакам классифицируются источники загрязнения воздушного пространства?
2. Какие бывают источники загрязнения по назначению?
3. Какие бывают источники загрязнения по месту расположения?
4. Какие бывают источники загрязнения по геометрической форме?
5. Какие бывают источники загрязнения по режиму работы?
6. Какие бывают источники загрязнения по дальности распространения?
7. Каков порядок расчета загрязнений по 3-й лабораторной работе?
8. Каков порядок расчета загрязнений по 4-й лабораторной работе?
9. Какие источники относятся к классу высоких?
10. Какие источники относятся к классу низких?
11. Написать уравнения $H_{гр}$ для узких, широких и смежных зданий?
12. Что такое граница низких источников загрязнения воздушного пространства и как она определяется?
13. Как определяется граница низких источников загрязнения для смежных зданий?
14. Что такое межкорпусная зона двух смежных зданий?
15. Что такое единая циркуляционная зона?
16. Каков порядок расчета загрязнений по программе?

ГЛАВА 5

РАСЧЕТ РАССЕЙВАНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ОТ ОТДЕЛЬНО СТОЯЩЕГО ШИРОКОГО ЗДАНИЯ С ТОЧЕЧНЫМ ИСТОЧНИКОМ НА КРЫШЕ ВНЕ НАВЕТРЕННОЙ ЗОНЫ

Цель работы: освоить современные методики расчетов рассеивания вредных веществ от отдельно стоящего широкого здания с точечным источником на крыше вне наветренной зоны по формулам, номограммам (рисункам в приложении), а также на ЭВМ, построение зон аэродинамической тени, уметь пользоваться нормативной документацией, анализировать экологическую обстановку, давать рекомендации по проектированию вентиляционных систем, находить пути решения проблем загрязнения воздушного бассейна.

Поток загрязняющих веществ от точечного источника непрерывного действия движется вместе с воздушными массами, перемещаемыми ветром; турбулентные вихри изгибают, разрывают поток и перемешивают его с окружающими воздушными массами. Некоторые вихри вызывают диффузию струй выброса, другие заставляют струю извиваться в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Молекулярная диффузия в этом процессе практически не играет никакой роли.

При выбросах через высокие трубы или при факельном выбросе в условиях безветрия рассеивание вредных веществ происходит главным образом под действием вертикальных потоков.

Форма струи, вытекающей из трубы, зависит, в основном, от вертикального градиента температуры вблизи трубы. Температура нижнего слоя атмосферы может колебаться в широких пределах по высоте. Каждому типичному случаю температурной стратификации соответствует определенный характер формы струи, выбрасываемой из свободной стоящей трубы.

Различают три основные формы струи (рис. 5.1) : *волнообразную, конусообразную и веерообразную (приподнятую и задымляющую).*

Волнообразная струя (рис. 5.1, а) образуется при сверхadiaбатическом вертикальном градиенте температуры, когда состояние атмосферы очень неустойчиво. Такая форма струи наблюдается в большинстве случаев летом в дневное время при хорошей погоде и слабом ветре. Поступающие в атмосферу загрязняющие вещества хорошо рассеиваются. Загрязнение атмосферы в этом случае значительно ниже расчетного. Отметим, что неустойчивые состояния, как правило, не могут быть длительными.

При падении температуры по высоте менее 1°C на 100 м состояние атмосферы устойчиво. Для этих условий в большинстве случаев газовый факел имеет форму *конуса* с горизонтальной осью (рис 5.1, б). Расчетная концентрация загрязняющих веществ в этом случае близка к фактической. Такая форма струи наиболее часто наблюдается во влажном климате днем или ночью. Благоприятствует рассеиванию загрязняющих веществ облачная и вет-

ренная погода. Конусная струя касается земли на большем расстоянии от трубы, чем волнообразная.

Веерообразная струя (рис. 5.1, в, г) образуется при температурной инверсии или при температурном градиенте, близком к изотермическому, что характеризует очень слабое вертикальное перемешивание. Образованию веерообразной струи благоприятствуют слабые ветры, чистое небо и снежный покров. Такая струя наиболее часто наблюдается в ночное время.

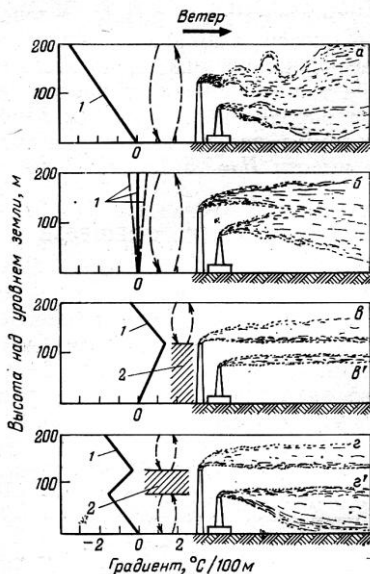


Рисунок 5.1 – Форма струй дыма, выбрасываемого незатененным точечным источником при различных условиях вертикальной стабильности атмосферы:

а – волнообразная струя (большой градиент температуры); б – конусообразная струя (малый градиент температуры); в – приподнятая струя (инверсия, градиент наверху); в' – веерообразная струя (инверсия); г – приподнятая струя (инверсия, градиент наверху); г' – задымляющая струя (инверсия внизу); 1 – градиент температур по высоте приземного слоя атмосферы; 2 – инверсионный слой

В большинстве случаев веерообразные струи дыма не считаются неблагоприятными, несмотря на то, что вертикальное рассеивание загрязнений мало. Это обусловлено тем, что при инверсионных условиях и нейтральной плавучести выброса загрязнение не стремится приблизиться к земной поверхности.

Если инверсионный слой оканчивается ниже устья трубы и затем начинается падение температуры, что наблюдается в течение 1–3 ч при заходе солнца, образуется *веерообразная приподнятая струя*. В этом случае загрязнение атмосферы приземного слоя значительно ниже расчетного, так как инверсионный слой служит естественной преградой, предотвращающей опускание загрязняющих веществ на землю.

Значительный по высоте инверсионный слой над устьем трубы приводит к обратному явлению. Образуется *веерообразная задымляющая струя*. При этом инверсионный слой является преградой для нормального рассеивания загрязняющих веществ, которые в больших концентрациях попадают в приземный слой воздуха. При расположении инверсионного слоя над устьем трубы он действует как «крышка», а развивающиеся конвективные вихри перемешивают струю в пределах примыкающего к земле неустойчивого слоя. При таких условиях возможно увеличение приземных концентраций загрязняющих веществ в окрестностях трубы до самых больших значений примерно в течение 30 мин.

Для промышленных установок выбросы через трубу большой высоты имеют преимущество перед факельным выбросом, так как в ряде случаев высокая труба позволяет устранить нежелательное влияние инверсионного слоя, находящегося ниже ее устья (рис. 5.1, г).

5.1 Порядок расчета

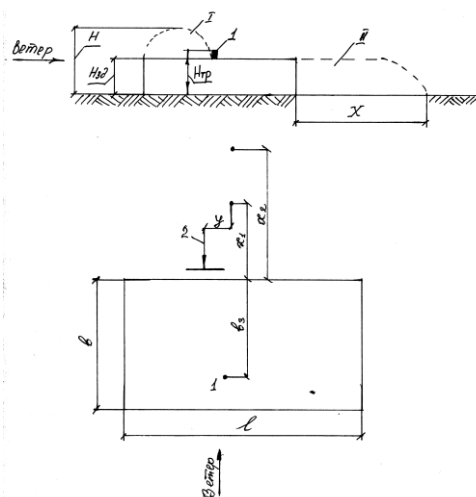


Рисунок 5.2 — Схема расположения точечного источника и воздухозабора в отдельно стоящем широком здании: I — навстречная циркуляционная зона; II — заветренная циркуляционная зона; 1 — точечный источник; 2 — воздухозабор

На здании (рис. 5.2) длиной l (м), шириной b (м) и высотой $H_{зд}$ (м) на расстоянии от заветренной стены b_z (м) расположена труба диаметром D (м) и высотой $H_{тр}$ (м), через которую удаляется ГВС; расход смеси L (м³/ч); смесь содержит пары аммиака, концентрация которых составляет 140 мг/м³. Требуется определить: концентрацию аммиака на заветренной стене здания

по оси источника в направлении ветра, на воздухозаборе, расположенном на заветренной стене на расстоянии y (м) от источника и на расстоянии x_1 (м) и x_2 (м) по оси источника в направлении ветра.

Если отношение ширины здания к его высоте $b/H_{\text{зд}}$ больше 2,5, то здание широкое; если $l/H_{\text{зд}}$ больше 10, следовательно, здание длинное.

Для выбора расчетной формулы необходимо знать безразмерный параметр \bar{H} . При расположении устья источника над участком крыши вне навесной зоны первого по потоку широкого здания

$$\bar{H} = \frac{H_{\text{тр}} - H_{\text{зд}}}{0,36b_3 + 0,7H_{\text{зд}}}. \quad (5.1)$$

Для расчета рассеивания воспользуемся следующей формулой

$$c = \frac{1,3mM}{n_c u_m} \left[\frac{0,8}{H_{\text{зд}} l} + \frac{42}{1,4l + x}^2 \cdot S_3 \right]. \quad (5.2)$$

Поскольку рассматриваемое здание является отдельно стоящим, коэффициент $n_c = 1$. Относительная величина \bar{b}_3 рассчитывается по формуле

$$\bar{b}_3 = b_3 / H_{\text{зд}}. \quad (5.3)$$

По таблице 5.1 определяем коэффициент заноса примесей m .

Таблица 5.1 – Коэффициент заноса примесей m .

\bar{b}	1	2	3	4	5	6	7	8
\bar{b}_3	1	2	3	4	5	6	7	8
m	1,2	0,7	0,5	0,4	0,3	0,25	0,22	0,2

Скорость ГВС на выходе из трубы определяем по формуле

$$w_0 = \frac{L}{\pi D^2 / 4 \cdot 3600}. \quad (5.4)$$

Находим произведение $w_0 D$.

По рисункам П1, П2 для $H_{\text{зд}}$ находим u_m . Определяем количество выбрасываемого вредного вещества: $M = L \cdot c_{\text{NH}_3}$.

Вспомогательную безразмерную величину находим по формуле

$$S_3 = \exp \frac{-30y^2}{1,4l + x}^2. \quad (5.5)$$

Затем определяем концентрацию паров аммиака на заветренной стене зда-

ния при $S_3 = 1$ (т.к. $x = 0$) по оси источника в направлении ветра по формуле (5.2).

Находим концентрацию на воздухозаборе по формуле (5.2).

Концентрацию паров аммиака на расстоянии x_1 (м) от заветренной стены по оси источника в направлении ветра находим следующим образом. В случае, если $x_1/H_{зд} < 4$, концентрация может быть определена по формуле (5.2) при x_1 (м).

Для определения концентрации аммиака на расстоянии x_2 (м) находим $x_2/H_{зд}$. Если эта величина больше 4, формула (5.2), имеющая ограничение $0 < x_1 \leq 4H_{зд}$, для определения величины концентрации на расстоянии x_2 (м) непригодна.

Для значений $x > 4H_{зд}$ применяем формулу

$$c = \frac{55mM}{u_m 1,4l + x^2 + 55L} \cdot S_3. \quad (5.6)$$

Нормами установлены следующие значения ПДК для аммиака: $0,2 \text{ мг/м}^3$ в атмосферном воздухе населенных пунктов, 20 мг/м^3 в воздухе рабочей зоны и 6 мг/м^3 на воздухозаборе.

Необходимо сравнить концентрацию паров аммиака на воздухозаборе и в пределах промышленной территории, полученную расчетным путем, с ПДК и сделать вывод.

Если направление ветра будет противоположным, то источник 1 также окажется вне наветренной циркуляционной зоны, т.к. в этом случае размер b_3 (м) больше ширины наветренной циркуляционной зоны. Если труба при этом направлении ветра окажется в пределах наветренной циркуляционной зоны, то необходимо проверить концентрации по нижеперечисленным формулам:

$$c = \frac{5,6mM}{H_{зд} u_m n_c l} \cdot S_1; \quad (5.7)$$

$$c = \frac{15M}{u_m l b + x} \cdot S_1. \quad (5.8)$$

Исходные данные для расчета представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Исходные данные для расчета

№ п/п	l , м	b , м	$H_{зд}$, м	b_3 , м	D , м	$H_{гр}$, м	$L \cdot 10^{-3}$, $\text{м}^3/\text{ч}$	c_{NH_3} , мг/м^3	y , м	x_1 , м	x_2 , м	Π_c
1	92	44	8	27	1,2	10,5	16	160	10	25	45	1
2	94	40	10	25	1,5	12	18	180	12	28	42	1

Продолжение таблицы 5.2

3	96	46	8	23	1,2	8,5	20	200	14	30	47	1
4	98	48	9	29	1,4	9,5	22	220	16	32	49	1
5	100	50	8,5	30	1,5	10	24	240	18	34	50	1
6	110	42	9,5	27	0,8	10,5	18	260	20	36	52	1
7	120	45	7	26	0,9	9	26	280	22	38	54	1
8	130	40	6	24	1,0	10	28	300	24	40	56	1
9	180	42	6	32	1,5	12	30	320	26	42	58	1
10	140	38	7	34	1,3	11	32	340	28	44	60	1
11	150	40	8	36	1,4	13	34	360	30	46	62	1
12	160	48	9,5	38	1,2	14	36	380	32	48	64	1
13	170	50	8,5	40	1,0	15	38	400	34	50	66	1
14	155	52	7,5	36	0,9	12	40	340	36	52	68	1
15	145	54	8	39	1,1	11	42	420	38	54	70	1
16	162	56	9	40	1,2	12	32	150	23	39	57	1
17	160	58	10	35	1,3	13	30	190	25	41	51	1
18	90	60	9	25	1,4	14	25	230	27	37	47	1
19	100	55	10	30	1,5	15	20	250	37	27	37	1

Таблица 5.3 – Список идентификаторов.

Обозначение в тексте	Идентификатор
Длина здания, l	L
Ширина здания, b	b
Высота здания, $H_{зд}$	Hzd
Расстояние от источника выброса до заветренной стены, b_3	b3
Диаметр источника выброса, D	D
Высота источника выброса, $H_{тр}$	Htr
Объем ГВС, L	L1
Концентрация аммиака, c_{NH_3}	c
Расстояние от воздухозабора до оси источника выброса, y	y1
Расстояние от заветренной стены здания, на котором необходимо определить концентрацию, x_1	x1
Расстояние от заветренной стены здания, на котором необходимо определить концентрацию, x_2	x2
Коэффициент, учитывающий скорость ветра, n_c	nc
Коэффициент заноса примесей, m	m

Продолжение таблицы 5.3

Скорость ГВС на выходе из трубы, w_0	W0
Количество выбрасываемого вредного вещества, M	M1
Концентрация на заветренной стороне здания, c	cz0
Концентрация паров аммиака на воздухозаборе, c	cv
Концентрация на расстоянии x_1	c1
Концентрация на расстоянии x_2	c2

Пример программы расчета на ЭВМ

```
'Задание 5
DECLARE SUB ss (otb3, m)
DIM SHARED ot(1 TO 8), MM(1 TO 8)
CLS
PRINT "Задание 5"
'*****Ввод исходных данных*****
CONST pi = 3.14
L = 90: b = 42: Hzd = 6: b3 = 25: D = 1: Htr = 9
nc = 1: L1 = 14 * 10 ^ 3: c = 140: y1 = 8: x1 = 20
x2 = 40: x0 = 0
'Данные таблица 5.1
DATA 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
DATA 1.2, .7, .5, .4, .3, .25, .22, .2
'*****
'Чтение данных таблицы 5.1 (заданных оператором DATE)
FOR i = 1 TO 8: READ ot(i): NEXT i
FOR i = 1 TO 8: READ MM(i): NEXT i
Hotn = (Htr - Hzd) / (.36 * b3 + .7 * Hzd)
PRINT "Hotn="; Hotn
otb3 = b3 / Hzd
razn = otb3 - INT(otb3)
IF razn <> 0 THEN otb3 = INT(otb3) + 1
PRINT "Отношение b3/Hzd="; otb3
'Обращение к подпрограмме для нахождения m
CALL ss(otb3, m)
PRINT "Коэффициент заноса примесей m="; m
W0 = 4 * L1 / pi / D ^ 2 / 3600
PRINT "Скорость ГВС на выходе из трубы W0="; W0
PRINT "Произведение W0*D="; W0 * D
INPUT "Введите Um"; Um
PRINT "Um="; Um
M1 = L1 * c / 3600
PRINT "Количество выбрасываемого вредного вещества M1="; M1
s3 = EXP(-30 * y1 ^ 2 / (1.4 * L) ^ 2)
PRINT "Вспомогательная величина S3="; s3
```

```

cz0 =1.3*m*M1/(nc*Um) * (.8/(Hzd*L)+42/(1.4*L+x0)^2* 1)
PRINT "Концентрация на заветренной стороне здания cz0=";cz0
cv =1.3*m*M1/(nc*Um) * (.8/(Hzd*L)+42/(1.4*L+x0)^2*s3)
PRINT "Концентрация паров аммиака на воздухозаборе cv="; cv
c1 =1.3*m*M1/(nc*Um) * (.8/(Hzd*L)+42/(1.4*L+x1)^2*1)
PRINT "Концентрация на расстоянии "; x1; "м "; "c1="; c1
c2 =55*m*M1*1/(Um*(1.4*L+x2)^2+55*L1)
PRINT "Концентрация на расстоянии"; x2; "м "; "c2="; c2
END

```

```

SUB ss (otb3, m)
'Нахождение m
FOR i = 1 TO 8
IF ot(i) = otb3 THEN m = MM(i)
NEXT i
END SUB

```

Результаты расчета

Задание 5
 Hotn= .2272727
 Отношение b3/Hzd= 5
 Коэффициент заноса примесей m= .3
 Скорость ГВС на выходе из трубы W0= 4.953999
 Произведение W0*D= 4.953999
 Um= 2
 Количество выбрасываемого вредного вещества M1= 544.4445
 Вспомогательная величина S3= .8860896
 Концентрация на заветренной стороне здания cz0= .4381482
 Концентрация паров аммиака на воздухозаборе cv= .4061548
 Концентрация на расстоянии 20 м c1= .3664696
 Концентрация на расстоянии 40 м c2= 1.088741E-02

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое точечный источник выброса?
2. Что такое линейный источник выброса?
3. Что такое факельный выброс вредных веществ?
4. Какие бывают формы струи дыма?
5. За счет чего появляется конусообразная струя?
6. За счет чего появляется приподнятая струя?
7. За счет чего появляется веерообразная струя?
8. За счет чего появляется задымляющая струя?
9. Рассказать порядок расчета.
10. Что такое инверсионный слой?
11. Каков порядок расчета загрязнений по программе?

ГЛАВА 6

РАСЧЕТ РАССЕЙВАНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ОТ ОТДЕЛЬНО СТОЯЩЕГО УЗКОГО ЗДАНИЯ С ЛИНЕЙНЫМ ИСТОЧНИКОМ В ЕДИНОЙ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ ЗОНЕ

Цель работы: освоить современные методики расчетов рассеивания вредных веществ от отдельно стоящего узкого здания с линейным источником в единой циркуляционной зоне по формулам, номограммам (рисункам в приложении), а также на ЭВМ, построение зон аэродинамической тени, уметь пользоваться нормативной документацией, анализировать экологическую обстановку, давать рекомендации по проектированию вентиляционных систем, находить пути решения проблем загрязнения воздушного бассейна.

Изменение концентрации загрязняющих веществ вдоль оси распространения струи на заветренной стороне трубы зависит от ее высоты и интенсивности турбулентного перемешивания. На некотором расстоянии от трубы x_m всегда образуется область максимальной концентрации c_m . Расстояние от основания трубы до этой области тем меньше, чем сильнее турбулентность и чем ниже труба.

Примеси, выбрасываемые незатененным точечным источником непрерывного действия в турбулентный воздушный поток, распространяются как в направлении движения ветра, так и в поперечном направлении. Характерной особенностью является постоянство количества примесей в любом сечении струи до момента ее соприкосновения с земной поверхностью.

По мере удаления от трубы концентрация по оси факела уменьшается, а размеры факела в перпендикулярном к оси направлении увеличиваются. Для конусной струи количество примесей, выбрасываемых непрерывным точечным источником в любом сечении, будет равно произведению средней концентрации по сечению на площадь этого сечения. Турбулентное перемешивание приводит к рассеиванию газовой струи или ее растворению в окружающем воздухе. Если считать газовую струю симметричной относительно ее оси, то линии равных концентраций в поперечном сечении струи будут представлять собой окружности с центром по оси струи. Расширяясь, струя на каком-то расстоянии от источника вдоль по направлению ветра касается своим краем земли.

Начальная точка соприкосновения струи с поверхностью земли является началом зоны загрязнения. За началом зоны загрязнения концентрация примесей над поверхностью земли начинает нарастать, что обусловлено выпадением из факела примесей, достигших поверхности земли в данный момент, и примесями (газ, аэрозоль), ранее достигшими земной поверхности и продолжающими свое движение по направлению ветра.

На каком-то, сравнительно близком от начальной зоны загрязнения, расстоянии концентрация примесей на поверхности земли достигает максимального значения, а затем сначала быстро, а потом медленно начинает уменьшаться. Это уменьшение концентрации у поверхности земли обратно пропорционально расстоянию от источника x : для точечного источника – $x^{-1,75}$, а для линейного – $x^{-0,88}$.

Если загрязняющие вещества (газ, аэрозоль) выходят из высокого точечного источника непрерывного действия, то на любом расстоянии от него концентрация на уровне земли будет меньше, чем от наземного источника такой же мощности.

Максимальная концентрация прямо пропорциональна производительности источника и обратно пропорциональна квадрату его высоты над землей.

Быстрое уменьшение концентрации на оси факела характерно для слабых струй. Мощные струи не могут размываться с такой же интенсивностью, как слабые струи.

При увеличении высоты источника над землей приземная концентрация вблизи него значительно уменьшается. Но по мере того как струя расширяется по вертикали, положительный эффект рассеивания с такого источника постепенно снижается, и на соответствующем расстоянии от него (в зависимости от его мощности) концентрация на уровне земли может приближаться к концентрации от наземного источника.

Расстояние x_m от точечного источника составляет $2/3$ от x_m для линейного источника.

Концентрация загрязняющих веществ в какой-либо точке воздушного пространства, расположенной в зоне действия нескольких источников, равна арифметической сумме концентраций, создаваемых в этой же точке пространства каждым источником в отдельности при их независимом действии.

Распространение загрязнений, удаляемых затененным точечным источником, носит иной качественный характер. Если вблизи незатененного источника приземная концентрация имеет ничтожно малую величину, то при удалении на такой же высоте и с такой же интенсивностью загрязнений через затененную трубу вблизи здания концентрация будет в 30–40 раз больше, чем через незатененную трубу.

6.1 Порядок расчета

На здании (рис. 6.1) расположен фонарь, через который удаляется вентиляционный воздух, содержащий оксид углерода. Объем удаляемого воздуха L_ϕ ($\text{м}^3/\text{ч}$). Количество оксида углерода определяют исходя из средней концентрации в удаляемом воздухе $c_{\text{ср}}$ ($\text{мг}/\text{м}^3$):

$$M = L_\phi \cdot c_{\text{ср}} \quad (6.1)$$

Температура удаляемого воздуха выше наружной температуры воздуха. Требуется определить концентрацию оксида углерода в единой циркуляционной зоне и на расстоянии x (м) от заветренной стены при направлении ветра, перпендикулярном продольной оси здания. Определяем отношение ширины здания к его высоте: если $b/H_{\text{зд}} < 2,5$, значит, здание узкое; если $l/H_{\text{зд}} < 10$, значит, здание короткое.

Линейный источник 1 расположен в единой циркуляционной зоне. Избыточное тепло (Вт), содержащееся в воздухе, уходящем через фонарь, находим по формуле

$$Q = L_{\phi} \cdot c_{\text{ср}} \cdot t_{\text{yx}} - t_0, \quad (6.2)$$

где $c_{\text{ср}}$ – объемная теплоемкость оксида углерода при средней температуре воздуха. Принимаем, что $c_{\text{ср}} = 1250 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$ – постоянная величина.

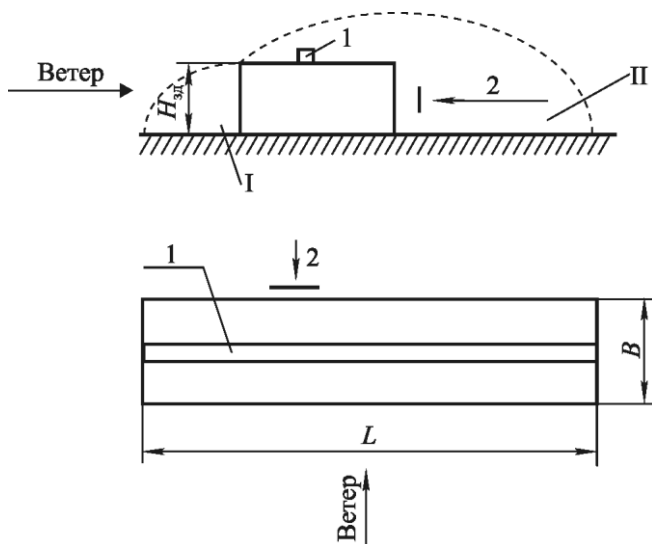


Рисунок 6.1 – Схема расположения линейного источника и воздухозабора в отдельно стоящем здании: I – зона подпора; II – единая циркуляционная зона; 1 – линейный источник, 2 – воздухозабор

Опасную скорость ветра находим по формуле

$$u_{\text{м}} = 0,93\phi \cdot \sqrt[3]{\frac{Q}{H_{\text{зд}}}}, \quad (6.3)$$

где по методике [4] для фонарей, расположенных в зоне аэродинамической тени, $\phi = 1$.

Концентрация оксида углерода в приземном воздухе единой циркуляционной зоны определяется по формуле

$$c = \frac{2 \cdot M}{n_c \cdot u_m \cdot l \cdot H_{зд}} . \quad (6.4)$$

Для отдельно стоящего здания коэффициент n_c равен единице.

При $x > 6H_{зд}$ концентрация оксида углерода на расстоянии x (м) от заветренной стены определяется по формуле

$$c = \frac{7,2 \cdot M}{u_m \cdot l \cdot b + x} . \quad (6.5)$$

Произведем сопоставительный расчет по методике [4].

Максимальная концентрация оксида углерода в приземном воздухе циркуляционной зоны определяется по формуле

$$c_m = \frac{2,9 \cdot K_{L\phi} \cdot \frac{M}{l_\phi}}{2,25 \cdot Q^{1/3} \cdot H_{зд}^{2/3} + 2,9 \cdot K_{L\phi} \cdot \frac{L_\phi}{l_\phi \cdot 3600}} . \quad (6.6)$$

Коэффициент $K_{L\phi}$ находим по таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Коэффициент $K_{L\phi}$

$l/H_{зд}$	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$K_{L\phi}$	0,9	1	1,15	1,3	1,45	1,65	1,8	2,1	2,2

Не следует забывать, что по формуле (6.4) определяется усредненное значение концентрации загрязнений в единой циркуляционной зоне. Наибольшая концентрация вредности обнаруживается на заветренной стене. Рассчитанная по формуле (6.6) концентрация является максимальной и находится на расстоянии $2,5 H_{зд}$ от заветренной стены.

Концентрация оксида углерода на расстоянии x (м) от заветренной стены определяется по формуле

$$c = c_m e^{-0,1 \left(\frac{x}{H_{зд}} - 2,5 \right)} . \quad (6.7)$$

Из сопоставления двух методик необходимо сделать выводы.

Исходные данные для расчета представлены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Исходные данные для расчета

№ п/п	$L_{\phi} \cdot 10^{-3}$ м ³ /ч	$H_{зд}$, м	l_{ϕ} , м	$c_{ср}$ мг/м ³	b , м	t_{yx} , °С	x , м	t_0 , °С	Π_c	φ
1	200	9	78	30	18	26	80	22	1	1
2	100	10	80	40	19	27	82	23	1	1
3	120	12	85	50	20	28	84	24	1	1
4	140	11	82	45	17	29	86	25	1	1
5	160	13	87	52	15	30	88	26	1	1
6	180	14	81	35	16	31	90	27	1	1
7	210	8	82	42	22	32	92	28	1	1
8	220	10	84	54	24	33	94	29	1	1
9	240	11	86	56	20	34	96	30	1	1
10	260	12	88	58	24	35	98	31	1	1
11	250	13	90	60	26	36	100	32	1	1
12	270	12	85	55	28	37	97	33	1	1
13	215	11	87	43	25	38	95	34	1	1
14	225	12	83	47	23	39	96	35	1	1
15	185	9	91	49	27	40	93	36	1	1
16	195	8	83	51	29	41	91	37	1	1
17	199	14	92	52	30	42	92	38	1	1
18	205	12	93	53	31	43	90	39	1	1
19	230	14	94	54	32	44	87	40	1	1
20	235	10	91	55	33	42	85	38	1	1

Таблица 6.3 – Список идентификаторов

Обозначение в тексте	Идентификатор
Объем ГВС, L	L1
Высота здания, $H_{зд}$	Hzd
Длина здания, l	L
Средняя концентрация оксида углерода в воздухе, $c_{ср}$	Ccp
Ширина здания, b	b
Температура уходящего воздуха, t_{yx}	tyx
Расстояние на котором определяют концентрацию, x	x

Продолжение таблицы 6.3

Начальная температура воздуха, t_0	t_0
Коэффициент φ	f_i
Коэффициент, учитывающий скорость ветра, n_c	n_c
Количество оксида углерода, M	M
Избыточное тепло, Q	Q
Избыточное тепло на 1 м длины фонаря, Q_1	Q_1
Опасная скорость ветра, u_m	U_m
Концентрация оксида углерода в приземном воздухе, c	C_1
Концентрация оксида углерода на расстоянии x (м), c	C_2
Максимальная концентрация оксида углерода в приземном воздухе c_m	C_m
Концентрация оксида углерода на расстоянии x (м), c	C_3

Пример программы расчета на ЭВМ

```
'Задание 6
DECLARE SUB ss (otl, klf)
DIM SHARED otml(1 TO 9), kll(1 TO 9)
CLS
'*****Ввод исходных данных*****
CONST Cp = 1250
L1 = 200 * 10 ^ 3: Hzd = 9: L = 78: Ccp = 30: b = 18
tyx = 26: x = 80: t0 = 22: fi = 1: nc = 1

'Данные таблица 2.2
DATA 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
DATA .9, 1, 1.15, 1.3, 1.45, 1.65, 1.8, 2.1, 2.2
'*****
'Чтение данных таблицы 2.2 (заданных в операторе DATA)
FOR i = 1 TO 9: READ otml(i): NEXT i
FOR i = 1 TO 9: READ kll(i): NEXT i
M = L1 * Ccp / 3600
PRINT "Количество оксида углерода M="; M
PRINT "Отношение b/Hzd= "; b / Hzd
otl = L / Hzd
PRINT "Отношение L/Hzd= "; otl
q = L1 * Cp / 3600 * (tyx - t0)
PRINT "Избыточное тепло Q="; q; "Вт"
Q1 = q / L
PRINT "Избыточное тепло на 1м длины фонаря Q1="; Q1; "Вт"
```

```

Um = .93 * fi * (Q1 / 1000 / Hzd) ^ (1 / 3)
PRINT "Опасная скорость ветра Um="; Um
C1 = 2 * M / nc / Um / L / Hzd
PRINT "Конц. оксида углерода в приземном воздухе C1="; C1
PRINT "x/Hzd="; x / Hzd
IF x / Hzd > 6 * Hzd THEN
  c2 = 7.2 * M / Um / L / (b + x)
ELSE
  c2 = 2 * M / (nc * Um * L * Hzd)
END IF
PRINT"Конц. оксида углерода на расстоянии";x;"м C2="; c2
razn = ot1 - INT(ot1)
IF razn <> 0 THEN ot1 = INT(ot1) + 1
PRINT "Округленная L/Hzd="; ot1
'Обращение к подпрограмме для нахождения klf
CALL ss(ot1, klf)
PRINT "klf="; klf
Cm1 = 2.9 * klf * M / L
Cm2=2.25*(q/1000)^(1/3)*Hzd^(2/3)+2.9*klf*L1/L/3600
Cm = Cm1 / Cm2
PRINT"Макс. конц. оксида углерода в приземном воздухе Cm="; Cm
c3 = Cm * EXP(-.1 * (x / Hzd - 2.5))
PRINT"Конц. оксида углерода на расстоянии";x; "м C3="; c3
END

SUB ss (ot1, klf)
'Нахождение Klf из таблицы 2.2
FOR i = 1 TO 9
IF ot1(i) = ot1 THEN klf = k11(i)
NEXT i
END SUB

```

Результаты расчета

```

Количество оксида углерода M= 1666.667
Отношение b/Hzd= 2
Отношение L/Hzd= 8.666667
Избыточное тепло Q= 277777.8
Избыточное тепло на 1м длины фонаря Q1= 3561.254
Опасная скорость ветра Um= .6827626
Конц. оксида углерода в приземном воздухе C1= 6.954596
x/Hzd= 8.88889
Конц. оксида углерода на расстоянии 80м C2= 6.954596

```

Округленная $L/Hzd = 9$

$k_{lf} = 2.1$

Макс. конц. оксида углерода в приземном воздухе $C_m = 1.917668$

Конц. оксида углерода на расстоянии 80м $C_3 = 1.012296$

Вопросы для самоконтроля

1. От каких факторов зависит концентрация загрязняющих веществ вдоль оси распространения струи на заветренной стороне трубы?
2. В каких направлениях распространяются примеси, выбрасываемые незатененным точечным источником непрерывного действия?
3. Чему равно количество примесей, выбрасываемых непрерывным точечным источником?
4. К чему приводит турбулентное перемешивание?
5. Что является началом зоны загрязнения?
6. Чему равна максимальная концентрация?
7. Рассказать порядок расчета.
8. Как влияет высота источника выброса над землей на приземную концентрацию?
9. Чему равна концентрация загрязняющих веществ в любой точке воздушного пространства, расположенной в зоне действия нескольких источников выброса?
10. Чем отличается распространение загрязнений, удаляемых затененным точечным источником от распространения загрязнений, удаляемых незатененным источником?
11. Каков порядок расчета загрязнений по программе?

ГЛАВА 7

РАСЧЕТ РАССЕЙВАНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ОТ ОТДЕЛЬНО СТОЯЩЕГО ШИРОКОГО ЗДАНИЯ С ТОЧЕЧНЫМ ИСТОЧНИКОМ НАД ЗАВЕТРЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ ЗОНОЙ

Цель работы: освоить современные методики расчетов рассеивания вредных веществ от отдельно стоящего широкого здания с точечным источником над заветренной циркуляционной зоной по формулам, номограммам рисункам в приложении), а также на ЭВМ, построение зон аэродинамической тени, уметь пользоваться нормативной документацией, анализировать экологическую обстановку, давать рекомендации по проектированию вентиляционных систем, находить пути решения проблем загрязнения воздушного бассейна.

Распространение газообразных примесей и пылевых частиц диаметром менее 10 мкм, имеющих незначительную скорость осаждения, подчиняется общим закономерностям. Для более крупных частиц эта закономерность нарушается, так как скорость их осаждения под действием силы тяжести возрастает. В случае выброса в атмосферу частиц пыли, одинаковых по массе и размеру, все они будут иметь одинаковую скорость падения.

Поскольку при очистке токсичной пыли крупные частицы улавливаются, как правило, значительно легче, чем мелкие, в выбросах остаются очень мелкие частицы, и поэтому рассеивание их в атмосфере рассчитывают так же, как и для газовых выбросов.

Допустимое содержание пыли в выбрасываемом воздухе следует определять по следующим формулам:

а) при объеме выбрасываемого в атмосферу воздуха более 15 тыс. м³/ч $c_1 = 100 \cdot K$;

б) при объеме выбрасываемого в атмосферу воздуха 15 тыс. м³/ч и менее $c_2 = (160 - 4 \cdot L') \cdot K$,

где K – коэффициент, принимаемый в зависимости от ПДК пыли в воздухе рабочей зоны помещения на постоянных рабочих местах; L' – объем удаляемого воздуха, тыс. м³/ч.

Таблица 7.1 – Зависимость коэффициента K от ПДК пыли в воздухе рабочей зоны помещения

ПДК пыли в воздухе рабочей зоны помещения, мг/м ³	≤ 2	$> 2 - 4$	$> 4 - 6$	≥ 6
Коэффициент K	0,3	0,6	0,8	1

Выбросы воздуха, удаляемого системами местных отсосов, с концентрациями пыли, не превышающими c_1 и c_2 , допускается проектировать, не предусматривая средств для их очистки. При устройстве систем очистки запыленного воздуха от пыли с частицами размером 20 мкм и более эффективность очистки должна быть не менее 90 %.

К наземным источникам выбросов относятся: технологическое оборудование, установленное на открытых площадках, колодцы производственной канализации, проливы токсических веществ, сбросы отходов производства, площадки уничтожения бракованной продукции сжиганием и т.п. От вероятных мест пролива следует предусматривать отвод токсичных веществ в закрытые емкости, снабженные местными отсосами.

Зонты на выбросных трубах способствуют увеличению загрязнения приземного слоя атмосферы промышленной площадки, так как они гасят скорость ГВС на выходе и направляют загрязнения вниз. Чтобы предотвратить загрязнение окружающей атмосферы вблизи здания, рекомендуется предусматривать беспрепятственный выход воздуха вверх как из труб, так и из шахт. При скорости выхода воздуха порядка 5 м/с капли дождя и снег не будут попадать в трубу. Если воздух, содержащий вредные примеси, удаляется через шахты в результате подпора, создаваемого приточной вентиляцией, то живое сечение шахт должно быть таким, чтобы скорость на выходе из них была порядка 5 – 6 м/с. Разумеется, в этом случае дополнительное сопротивление, создаваемое шахтами проходу воздуха, должно быть приплюсовано к давлению приточного вентилятора.

7.1 Порядок расчета

За зданием (рис. 7.1) длиной l (м), шириной b (м) и высотой $H_{зд}$ (м) над заветренной циркуляционной зоной расположена труба диаметром D (м) и высотой H (м), через которую удаляется ГВС (L (м³/ч)), содержащая оксиды азота, концентрация которых составляет $c_{ср}$ (мг/м³). Требуется определить концентрацию оксидов азота по оси источника в направлении ветра на расстоянии x_1 (м) и x_2 (м).

Если отношение $b/H_{зд} > 2,5$, то здание широкое; если $l/H_{зд} > 10$, здание длинное.

Относительные расстояния от заветренной стены здания, на которых должны быть определены концентрации оксидов азота:

$$x_1/H_{зд} < 4; \quad x_2/H_{зд} > 4.$$

Для этих условий принимаем расчетные формулы (7.1) и (7.2) соответственно:

$$c = \frac{1,3 \cdot M \cdot K_h}{n_c \cdot u_m} \left[\frac{0,8}{H_{зд} \cdot l} + \frac{20}{1,4 \cdot l + x_1^2} \cdot S_3 \right]; \quad (7.1)$$

$$c = \frac{27 \cdot M \cdot K_h}{u_m \cdot 1,4 \cdot l + x_2^2} \cdot S_3. \quad (7.2)$$

Концентрацию оксидов азота в заветренной циркуляционной зоне здания на расстоянии от заветренной стены x_1 (м) определяем по формуле (7.1).

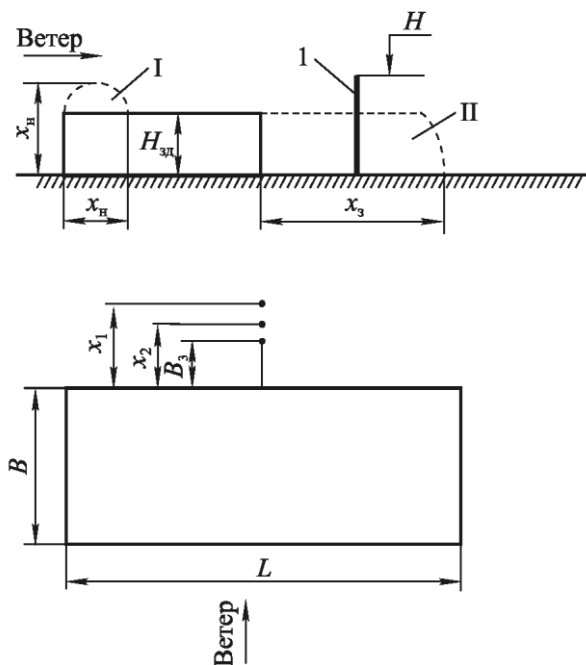


Рисунок 7.1 – Схема расположения точечного источника над заветренной циркуляционной зоной с отдельно стоящим широким зданием:

I – наветренная циркуляционная зона; II – заветренная циркуляционная зона;
1 – точечный источник; x_H – длина наветренной зоны; x_3 – длина заветренной зоны

Поскольку здание является отдельно стоящим, принимаем значения безразмерного коэффициента n_c , учитывающего снижение расчетной скорости ветра, равным единице. Безразмерный параметр \bar{H} находим по формуле

$$\bar{H} = \frac{H - H_{\text{зд}}}{0,36 \cdot b_3 + 0,7 \cdot H_{\text{зд}}} . \quad (7.3)$$

По рисунку 7.2 и значению \bar{H} находим величину K_h для межкорпусных пространств и точечных источников непрерывного действия.

Скорость ГВС на выходе из трубы определяем по формуле

$$w_0 = \frac{4L}{\pi \cdot D^2 \cdot 3600} . \quad (7.4)$$

Определяем произведение $w_0 \cdot D$.

По рисунку П1 для $H_{\text{зд}}$ находим u_m (м/с).

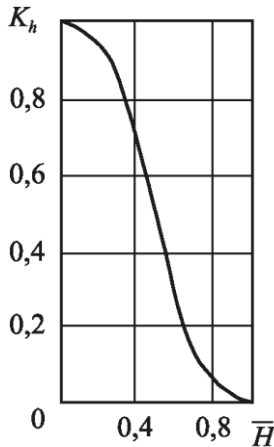


Рисунок 7.2 – График для определения коэффициента K_h

Количество выбрасываемых оксидов азота определяем по формуле

$$M = \frac{L \cdot c_{\text{ср}}}{3600} .$$

Находим приземную концентрацию оксидов азота в заветренной циркуляционной зоне на расстоянии x_1 (м) по формуле (7.1).

Концентрацию оксидов азота в заветренной циркуляционной зоне на расстоянии x_2 (м) находим по формуле (7.2). Нормами [3] установлены значения ПДК для оксидов азота: $0,085 \text{ мг/м}^3$ в атмосферном воздухе населенных пунктов, 5 мг/м^3 в воздухе рабочей зоны и $1,5 \text{ мг/м}^3$ на воздухозаборе.

Необходимо проанализировать концентрации, полученные расчетным путем, и сделать соответствующие выводы.

Исходные данные для расчета представлены в таблице 7.1.

Таблица 7.2 – Исходные данные для расчета

№ п/п	l , м	b , м	$H_{зд}$, м	D , м	H , м	$L \cdot 10^{-3}$, м ³ /ч	$c_{ср}$, мг/м ³	x_1 , м	x_2 , м	b_3 , м	n_c	y_1 , м
1	72	38	8	0,9	9	13	30	18	35	7	1	6
2	74	40	10	1,0	12	14	32	20	38	8	1	7
3	75	41	11	1,1	12	15	34	21	39	9	1	8
4	76	42	12	1,2	12	16	35	22	40	10	1	9
5	78	43	7	1,1	8	17	38	23	41	11	1	10
6	80	35	8	0,85	9	18	39	24	42	12	1	9
7	82	36	9	0,95	11	19	40	25	43	13	1	8
8	81	35	9	0,98	10	20	41	26	44	14	1	7
9	80	36	10	1,0	12	21	33	27	45	7	1	6
10	83	37	11	1,1	13	22	34	25	42	8	1	5
11	84	38	10	1,0	14	23	37	28	43	9	1	11
12	85	39	9	1,2	15	24	38	29	44	10	1	4
13	86	40	8	0,85	12	25	39	19	45	11	1	2
14	87	41	9	0,75	13	26	40	20	46	12	1	1
15	88	42	10	0,78	14	27	41	21	47	13	1	6
16	80	36	9	0,82	15	28	42	22	48	9	1	8
17	81	38	7	0,93	10	29	43	23	49	8	1	9
18	82	37	8	0,98	12	30	44	24	50	12	1	10
19	83	36	10	1,0	13	31	45	25	51	11	1	11

Пример программы расчета на ЭВМ

'Задание 7

CLS

'*****Ввод исходных данных*****

CONST pi = 3.14

L = 70: b = 36: Hzd = 6: D = .8: H = 8 L1 = 12

Cf = 25: x1 = 15: x2 = 30: nc = 1: y = 5: b3 = 10

'*****

PRINT "b/Hzd="; b / Hzd

PRINT "L/Hzd="; L / Hzd

PRINT "X1/Hzd="; x1 / Hzd

PRINT "X2/Hzd="; x2 / Hzd

```

Hotn = (H - Hzd) / (.36 * b3 + .7 * Hzd)
PRINT "Hotn="; Hotn
INPUT "Введите Kh"; Kh
PRINT "Kh="; Kh
W0 = 4 * L1 * 1000 / pi / D ^ 2 / 3600
PRINT "Скорость ГВС на выходе из трубы W0="; W0
PRINT "Произведение W0*D="; W0 * D
INPUT "Введите Um"; Um
PRINT "Um="; Um
M = L1 * 1000 * Cf / 3600
PRINT "Количество выбрасываемого оксида азота M="; M
S3 = EXP(-30 * y ^ 2 / (1.4 * L + x) ^ 2)
PRINT "Коэффициент S3="; S3
IF x1 / Hzd < 4 * Hzd THEN
C1=1.3*M*Kh/nc/Um*(.8/Hzd/L+20*S3/(1.4*L+x1)^2)
ELSE
C1 = 27 * Kh * M / Um / (1.4 * L + x1) ^ 2
END IF
PRINT"Конц. оксида азота на расстоянии x1=";x1;"м C1=";C1
IF x2 / Hzd < 4 * Hzd THEN
C2=1.3*M*Kh/nc/Um*(.8/Hzd/L+20*S3/(1.4*L+x2)^2)
ELSE
C2 = 27 * Kh * M / Um / (1.4 * L + x2) ^ 2
END IF
PRINT"Конц. оксида азота на расстоянии x2=";x2;"м C2=";C2
END

```

Результаты расчета

```

b/Hzd= 6
L/Hzd= 11.66667
X1/Hzd= 2.5
X2/Hzd= 5
Hotn= .2564102
Kh= .9
Скорость ГВС на выходе из трубы W0= 6.634819
Произведение W0*D= 5.307855
Um= 2.5
Количество выбрасываемого оксида азота M= 83.33334
Коэффициент S3= .9248789
Конц. оксида азота на расстоянии x1= 15м C1= .1307824
Конц. оксида азота на расстоянии x2= 30м C2= .1183168

```

Вопросы для самоконтроля

1. Каким закономерностям подчиняется распространение газообразных примесей и пылевых частиц диаметром менее 10 мкм?
2. Каким закономерностям подчиняется распространение газообразных примесей и пылевых частиц диаметром более 10 мкм?
3. Как определяется допустимое содержание пыли в выбрасываемом воздухе, если его объем более 15 тыс. м³/ч?
4. Как определяется допустимое содержание пыли в выбрасываемом воздухе, если его объем менее 15 тыс. м³/ч?
5. Какая эффективность очистки должна быть при размере частиц 20 мкм?
6. Какие источники выбросов относятся к наземным?
7. Что необходимо сделать, чтобы предотвратить загрязнение окружающей атмосферы вблизи здания?
8. Расскажите порядок расчета рассеивания вредных веществ по заданию.
9. При какой скорости выхода воздуха из труб капли дождя и снег не будут попадать в трубу технологического выброса?
10. Что такое наветренная стена здания?
11. Что такое заветренная стена здания?
12. Каков порядок расчета загрязнений по программе?

ГЛАВА 8

РАСЧЕТ РАССЕЙВАНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ОТ ФАКЕЛЬНОГО ВЫБРОСА

Цель работы: освоить современные методики расчетов рассеивания вредных веществ при факельном выбросе вредных веществ по формулам, номограммам (рисункам в приложении), а также на ЭВМ, построение зон аэродинамической тени, уметь пользоваться нормативной документацией, анализировать экологическую обстановку, давать рекомендации по проектированию вентиляционных систем, находить пути решения проблем загрязнения воздушного бассейна.

Температура воздуха в черте города выше, чем за городом. Кирпич, бетон, кровля здания, асфальт аккумулируют тепло, так как они нагреваются сильнее, чем покрытая растительностью почва загородной территории. Поднимающийся теплый городской воздух замещается воздушными массами, подтекающими со всех сторон. Направление возникающего при этом движения воздуха – от периферии к центру. Скорость городского ветра обычно составляет примерно 2 м/с. Городской ветер появляется, как правило, утром в тот период, когда начинается нагревание городского воздуха, и удерживается до полудня – времени минимальной разности температур. Коэффициенты рассеивания над районами застройки больше, чем над незастроенной поверхностью сравнительно спокойного рельефа. Препятствия на пути потока создают вертикальные и горизонтальные вихри и увеличивают турбулентность. Процесс обтекания воздушным потоком группы последовательно расположенных зданий отличается от процесса обтекания одиночного здания. Если здания имеют приблизительно одинаковую высоту, то около первого по потоку ветра здания образуется зона подпора, наветренная и заветренная зоны (при широком здании) или единая зона (при узком здании), мало чем отличающиеся от циркуляционных зон отдельно стоящего здания. Если расстояния между такими зданиями будут равны или меньше двух высот их, что характерно для городской застройки, то над вторым по потоку и последующими зданиями ветровой поток проносится в основном над верхними гранями зданий, лишь небольшая часть его попадает в пространство между зданиями, образуя в нем эллиптические вихри. Характер образования воздушных потоков в условиях города очень сложен и зависит от плотности застройки, высоты зданий, рельефа местности, ширины улиц, их расположения и других факторов, которые не могут быть учтены при расчете рассеивания выбрасываемых в атмосферу вредных примесей. При расчете рассеивания примесей в условиях города необходимо учитывать плотность застройки и преобладающее влияние соседних высоких зданий на образование

зоны аэродинамической тени над рассматриваемым производственным зданием, для которого проектируется выброс в атмосферу. В условиях города часто вблизи существующего производственного корпуса, имеющего высоту 10 – 12 м, располагают новые высокие жилые или административные здания высотой 50 – 60 м. При такой планировке вентиляционный выброс, расположенный на крыше или вблизи низкого производственного здания, будет заноситься в окна соседнего жилого здания. Чтобы избежать это, необходимо выбросы из низкого здания вывести выше более высокого здания, а иногда и выше границы зоны аэродинамической тени, создаваемой высоким зданием. В условиях города со зданиями высотной застройки необходимо также учитывать возможность попадания загрязнений, удаляемых через высокие трубы, в окна высоких зданий, находящихся на значительном расстоянии от источника выброса.

Учитывая значительный нагрев воздуха непосредственно над кровлей в летний период, воздухоприемные устройства систем приточной вентиляции в соответствии с нормами, необходимо располагать на высоте не менее

3 м от плоскости кровли. В некоторых случаях, когда расстояние между источниками выбросов достаточно большое, что определяется расчетом, целесообразно располагать воздухозабор вблизи выбросной трубы, обеспечив при этом удаление загрязнений на такую высоту, при которой концентрации вредных веществ на соседнем воздухозаборе не превысят 30% ПДК в рабочей зоне. При таком техническом решении источник выброса, расположенный вблизи воздухозабора, не создает на нем существенных загрязнений. Действующие нормы регламентируют ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны производственных помещений, на воздухозаборах и в воздухе населенных пунктов только при постоянно действующих источниках загрязнения. Аварийные выбросы в различных отраслях промышленности резко различаются по периодичности возникновения, степени токсичности, величине валовых выделений и длительности воздействия вредных веществ.

К аварийным относятся выбросы как возникающие чрезвычайно редко, так и систематически повторяющиеся, иногда по нескольку раз в смену. Это вызывает необходимость классификации аварийных выбросов и предъявления к их проектированию и расчету систем аварийной вентиляции определенных санитарно-гигиенических требований. В нормах указано, что аварийную вентиляцию следует предусматривать в производственных помещениях, в которых возможно внезапное поступление в воздух рабочей зоны больших количеств вредных веществ (кроме пыли). Это дает основание устраивать аварийную вентиляцию в помещениях, где расположены емкости для хранения и трубопроводы для транспортирования вредных веществ. Однако через негерметичное соединение в помещение может поступать столь большое количество вредных веществ, что никакая аварийная вентиляция с

ними не справится. При подобных аварийных ситуациях, когда пол окажется залитым испаряющейся жидкостью, включение аварийной вентиляции будет способствовать интенсификации испарения, что резко усилит загрязнение воздуха на территории промышленной площадки, ничуть не уменьшив загазованность помещения, где произошла авария. В подобных ситуациях представляется более целесообразным выключить вентиляцию для уменьшения подвижности воздуха и лишь после удаления пролившейся жидкости в закрытую емкость включить аварийную вентиляцию для удаления остаточного количества вредных веществ. Нельзя решить вопросы аварийной вентиляции производственных и складских помещений без учета степени загрязнения воздушного пространства промышленной территории. Если взамен удаляемого аварийной вентиляцией воздуха в помещение будет поступать воздух, забираемый снаружи, содержащий это же вредное вещество высокой концентрации, эффект аварийной вентиляции будет ничтожным.

При размещении воздухозаборов и источников выбросов на крышах крупноразмерных зданий следует учитывать возможность суммирования концентраций, создаваемых соседними источниками, удаляющими одноименные вредные вещества или вещества однонаправленного действия. Такие источники должны либо концентрироваться в одном месте и удаляться по возможности на большую высоту (что обеспечивается, как правило, факельным выбросом), либо, если такое объединение невозможно по соображениям пожарной безопасности, они должны располагаться в шахматном порядке или вразбегу на возможно большем расстоянии один от другого. Концентрация выбросов в одном источнике создает более благоприятные условия для возвышения факела, так как мощный факел, обладающий большим количеством движения, изгибается и размывается ветром значительно менее интенсивно, чем выброс с малым количеством воздуха, и поэтому достигает большей высоты.

Механизм действия факельного выброса основан на *дальнобойности свободной затопленной струи* и эжекционном вовлечении этой струей окружающего воздуха.

Направляя выхлопную струю вертикально вверх и сообщая ей повышенную выходную скорость 15–40 м/с, можно рассчитывать, что в спокойную, безветренную погоду выбросной факел достигает значительной высоты, обеспечивающей рассеивание загрязняющих веществ на большом пространстве.

Если принять скорость выброса на выходе из трубы 15 м/с, диаметр трубы 0,7 м и конечную осевую скорость факела 1 м/с, то дальнобойность такого факела в безветренную погоду составит около 60 м, и разбавление, например, сероводорода и сероуглерода (при первоначальной концентрации 0,02–0,06 мг/л), будет 30-кратным, т.е. концентрации уменьшатся до 0,0007–0,002 мг/л.

При безветренной погоде высота факельного выброса под устьем трубы достигает значительной величины. Ветер искривляет факел выброса. При этом первоначальное скоростное поле факела изменяется, и частицы, которые на выходе из трубы имели наибольшую скорость (по оси выходящего из трубы факела), окажутся в верхней части искривленного потока; частицы, имеющие на выходе из трубы наименьшую скорость, будут сразу же сдуваться с устья трубы, т.е. окажутся в нижней части факела.

В работе [5] отмечено, что турбулентность в струе выброса и турбулентность в окружающем воздухе взаимосвязаны. При достаточно интенсивном турбулентном перемешивании в атмосферном воздухе эта взаимосвязь определяет обмен в струе (исключение составляет начальный участок). Вокруг источника выброса создается поле вертикальных скоростей, затухающих с удалением от него и способствующих подъему примеси вверх.

С одной стороны, чем больше скорость ветра, тем сильнее он будет искривлять факел, уменьшая высоту выброса, с другой, сильный ветер обеспечивает более интенсивное рассеивание выбросов, что обусловлено турбулентной диффузией. Исследованиями установлено, что размывание факела наиболее энергично происходит со стороны набегающего ветрового потока. Симметричность факела при этом теряется. Повышение скорости ГВС при выходе из трубы увеличивает турбулентность струи, что способствует ускорению и повышению эффективности процесса рассеивания. Струя является непроницаемой для ветрового потока, и за ней, как за препятствием, образуется зона аэродинамической тени.

Если расчетом установлено, что приземная концентрация загрязняющих веществ от выбросов, поступающих в зону аэродинамической тени, превосходят ПДК, то такие вентиляционные и технологические выбросы должны быть выведены выше зоны аэродинамической тени.

Удаление загрязнений за предел аэродинамической тени может быть осуществлено либо через трубу необходимой высоты, либо факельным

выбросом. При этом следует учитывать, что удаление выбросов через высокую трубу обеспечивает снижение концентрации при любых скоростях ветра, так как граница зоны аэродинамической тени не зависит от скорости ветра.

В ряде случаев расположение высоких труб на крыше здания нарушает его архитектуру или вызывает конструктивные затруднения, тогда используют факельный выброс, позволяющий удалить загрязняющие вещества за пределы границы зоны аэродинамической тени при сравнительно малой высоте трубы.

Нет необходимости учитывать плотность большинства выбрасываемых ГВС вследствие быстрого и полного смешения выбросов с окружающим воздухом, поэтому при построении номограммы отношения плотностей выброса и окружающего воздуха принимается равным единице. В пределах обычно принимаемых температур это допущение дает расхождение между

результатами расчетов для зимнего и летнего периодов около 6,5 %, что обеспечивает запас в зимнее время.

8.1 Потеря давления на факельный выброс

Полное сопротивление факельного выброса без учета потери давления в выбросной трубе до насадка складывается из сопротивлений конфузора, цилиндрического участка трубы, расположенного за ним, и участка выхода в атмосферу.

По данным [6], коэффициент местного сопротивления (к.м.с.) конфузора определяется по формуле

$$\xi_K = \xi' \cdot \left(1 - \frac{F_0}{F_1} \right) + \xi_{\text{тр}}, \quad (8.1)$$

где ξ' – доля к.м.с., зависящая от соотношения площадей меньшего и большего сечений; F_0 – площадь сечения меньшего диаметра, м²; F_1 – площадь сечения большего диаметра, м²; $\xi_{\text{тр}}$ – доля к.м.с., характеризующая потерями на трение о стенки.

Суммарный к.м.с. насадка (конфузора и сопла) $\xi = \xi_K + \xi_{\text{вых}}$.

Потери на трение к.м.с. в прямом участке сопла – ξ_C . При определении потерь давления на факельный выброс величина к.м.с. должна быть отнесена к скорости выхода выбрасываемых газов.

Для удаления всего факела, включая и его нижнюю часть, за пределы зоны аэродинамической тени возвышение факельного выброса над срезом насадка рекомендуется принимать с запасом 20 %. Графики границ зон аэродинамической тени дают возможность определить необходимую высоту вентиляционного выброса в зависимости от места расположения выбросной трубы на крыше здания. Отметим, что расчет следует производить с учетом наиболее неблагоприятного направления ветра, при котором высота зоны аэродинамической тени в месте расположения выбросной трубы будет наибольшей. Как правило, это наблюдается при направлении ветра, перпендикулярном длинной стороне здания.

8.2 Порядок расчета

Объем удаляемой ГВС L (м³/с) или L (м³/ч). Труба расположена на крыше здания высотой $H_{\text{зд}}$ (м). Диаметр трубы D (м). Расчетная скорость ветра на высоте флюгера u (м/с). ГВС должна быть удалена на высоту $H_{\text{эф}}$ (м) от уровня земли. Требуется определить диаметр насадка d , скорость выхода воздуха из насадки w , потери давления на факельный выброс ΔP и

размеры насадка.

Расчет ведем по рисунку П8, составленной на основании формулы

$$\bar{b}_3 = b_3 / H_{3д} . \quad (8.2.)$$

На оси абсцисс рисунка П8 графика \bar{b} откладываем диаметр трубы D (м) и восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с наклонной прямой. Из точки пересечения проводим горизонтальную линию, параллельную оси абсцисс, до оси ординат, на которой получаем наименьшую высоту насадка l (м).

Необходимое возвышение факела над срезом насадка $\Delta h = H_{эф} - H_{3д} + l$, с запасом 20 %. Находим $\Delta h \cdot u$.

На оси абсцисс рисунка П8 a откладываем значение L (м³/ч) и восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с воображаемой наклонной кривой $\Delta h \cdot u$. В точке пересечения получаем диаметр насадка d (мм). Из точки пересечения проводим горизонтальную линию, параллельную оси абсцисс, до пересечения со шкалами w_0 и ΔP , и получаем скорость ГВС в насадке w_0 (м/с), а также потери давления на факельный выброс ΔP (Па). Находим уточненную длину насадка (см. рисунок П8) l (м) и определяем расхождение с предварительно принятой по графику величиной.

Исходные данные для расчета представлены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Исходные данные для расчета

№ п/п	$L \cdot 10^{-3}$ м ³ /ч	$H_{3д}$ м	D , м	U_p , м/с	$H_{эф}$, м
1	37	18	1,2	1,0	45
2	35	16	1,0	1,5	42
3	25	14	0,8	1,7	46
4	38	16	1,0	1,4	48
5	35	12	1,3	1,6	45
6	34	16	1,5	1,2	40
7	28	14	1,6	1,3	44
8	45	12	1,2	1,2	45
9	40	16	1,0	1,4	42
10	41	18	1,4	1,2	45
11	25	16	1,0	1,0	42
12	38	18	0,8	1,2	34

Продолжение таблицы 8.1

13	36	18	1,0	1,5	32
14	35	15	1,2	1,7	42
15	37	16	0,8	1,2	45
16	29	18	1,2	1,0	45
17	40	18	1,2	1,0	45
18	31	18	1,0	1,2	45
19	33	19	1,1	1,3	42
20	38	21	1,4	1,4	46

Вопросы для самоконтроля

1. Каков механизм действия факельного выброса?
2. Что такое свободная затопленная струя?
3. Каким способом происходит удаление загрязнений за предел аэродинамической тени?
4. Что такое граница зоны аэродинамической тени?
5. Какое устройство применяется при факельном выбросе?
6. Как определить коэффициент местного сопротивления (к.м.с.) конфузора?
7. Чему равен суммарный к.м.с. насадка?
8. Какое рекомендуется возвышение факельного выброса над срезом насадка?
9. Каков порядок расчета факельного выброса?
10. Чем отличается факельный выброс от аварийного выброса?
11. Что такое эффективная высота факельного выброса?

ПРИЛОЖЕНИЕ

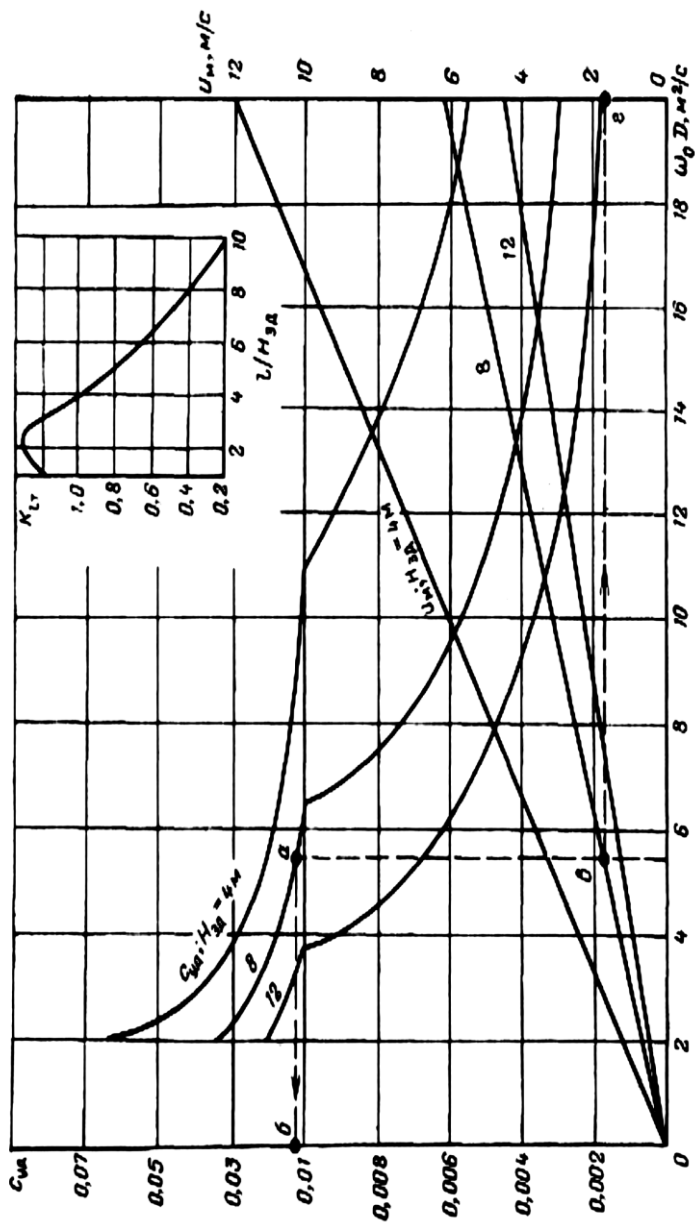


Рисунок П1 – Номограмма для определения опасной скорости ветра $U_{вет}$ и максимальной концентрации вредных веществ $c_{уд}$ выбрасываемых затененными точечными источниками в единую циркуляционную зону отдельно стоящего узкого здания высотой $H_{зд}$, 4, 8 и 12 м ($c_{уд} = c_{уд} K_{вет} M$, где $c_{уд}$ – удельная концентрация вредных веществ при коэффициенте $K_{вет} = 1$ и валовом выбросе $M = 1 \text{ мг/с}$)

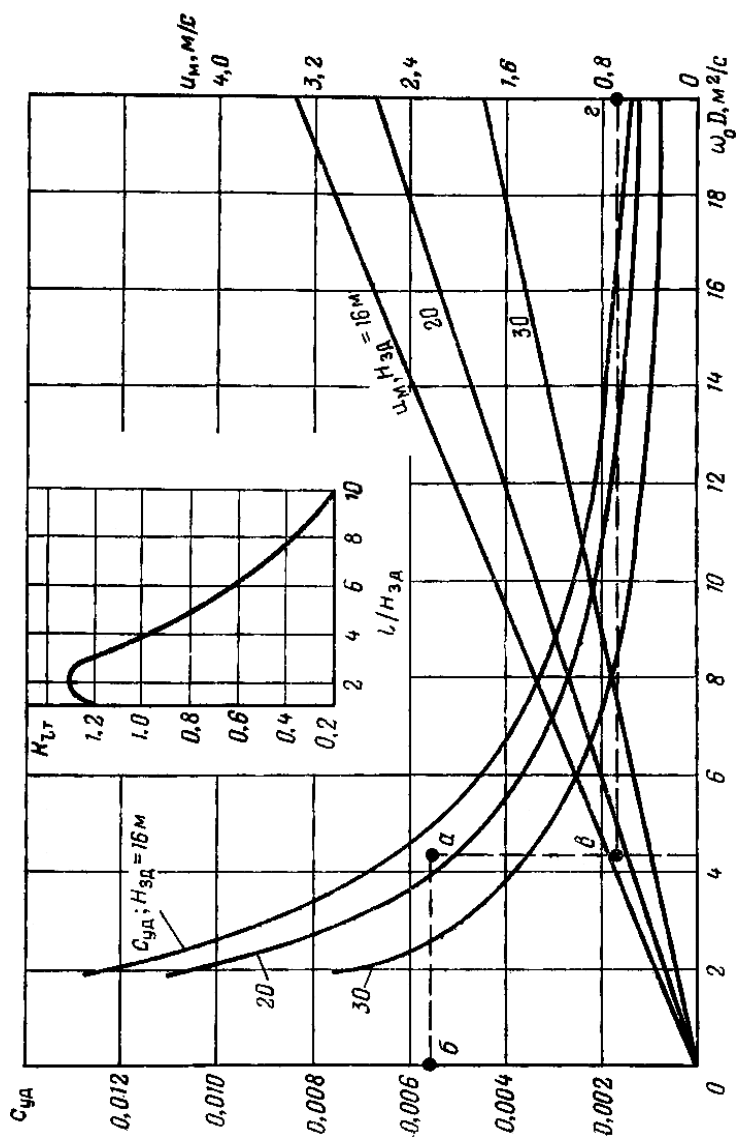


Рисунок П2 – То же, что и рисунок П1, для $H_{зд}$ равном 16, 20 и 30 м

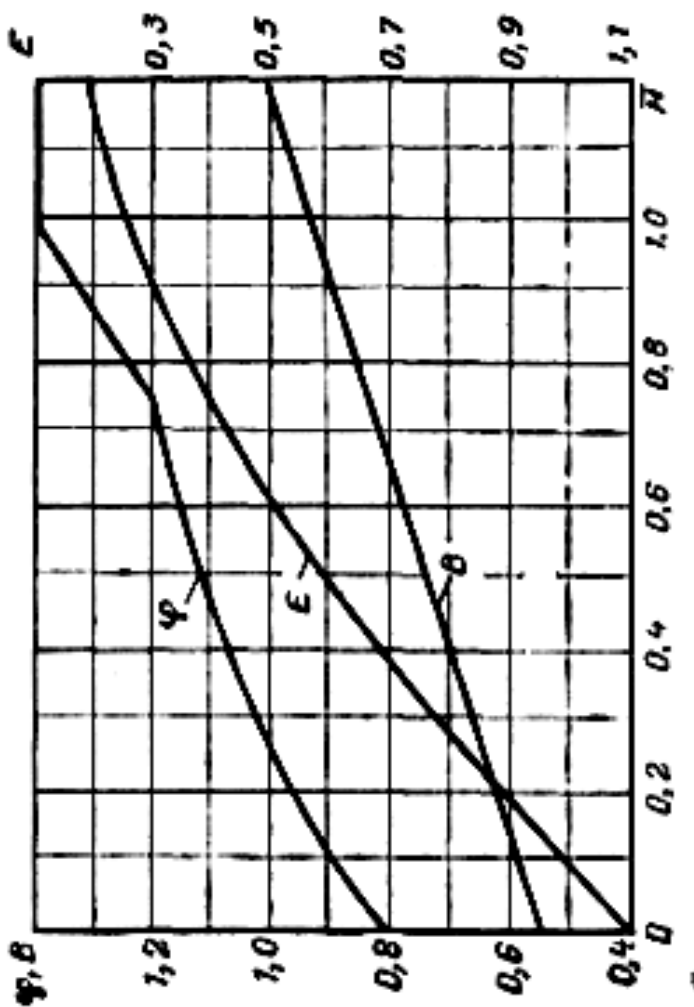


Рисунок ПЗ – Номограмма для определения зависимости коэффициентов B , E и φ от \bar{H} для отдельно стоящего узкого здания
 $\bar{H} = (H - H_{зд}) / H_{зд}$, где — высота трубы

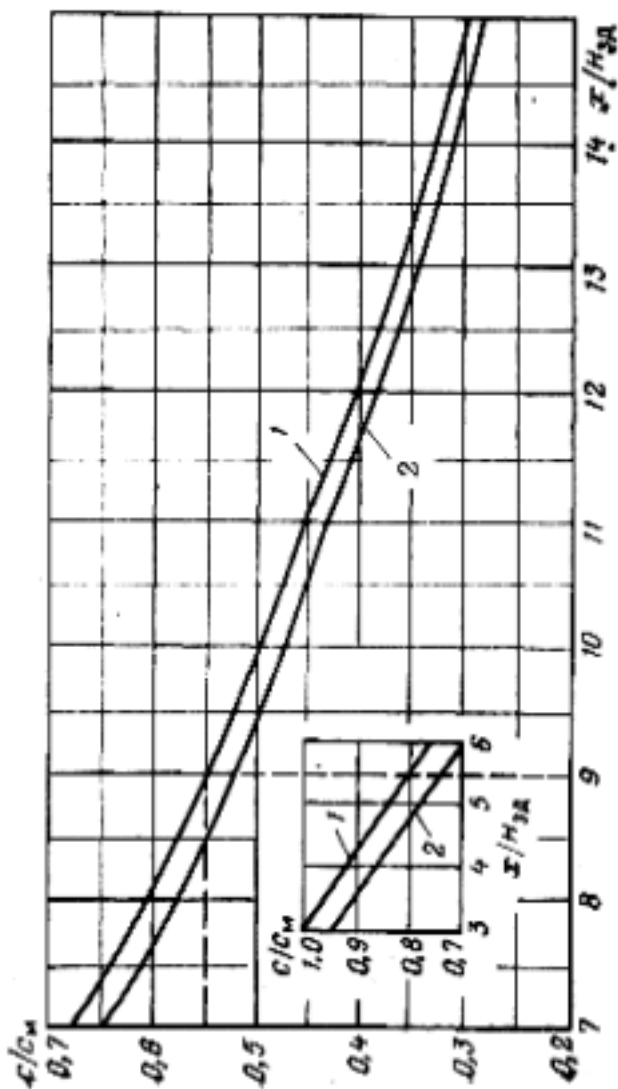


Рисунок П4 — Номограмма для определения концентрации загрязняющих веществ по оси струи, перпендикулярной длинной стороне узкого здания, на расстоянии x от заветренной стены: 1 — точечный источник; 2 — линейный источник. Штриховой линией показано определение концентрации загрязняющих веществ c на воздухозаборе при максимальной концентрации загрязняющих веществ за зданием от точечного источника $c_n = 0,7 \text{ мг/м}^3$, высоте здания $H_{зд} = 8 \text{ м}$ и расстоянии от заветренной стены до воздухозабора $x = 72 \text{ м}$

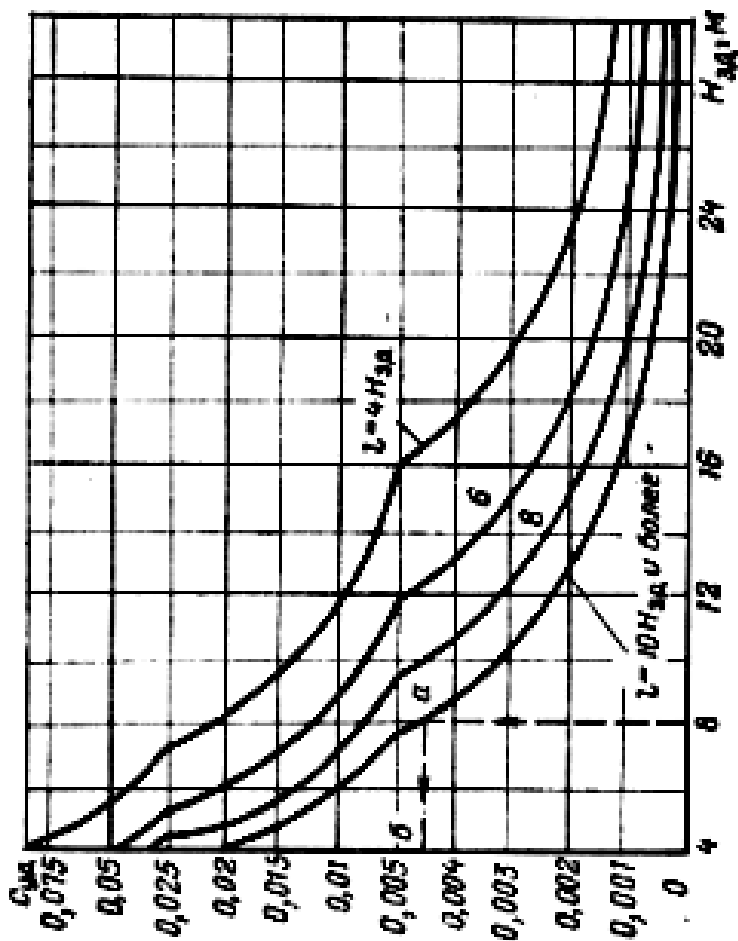


Рисунок П5 – Номограмма для определения концентрации загрязняющих веществ у заострённой стены при удалении их затененными точечными источниками в единую циркуляционную зону от отдельно стоящего узкого здания

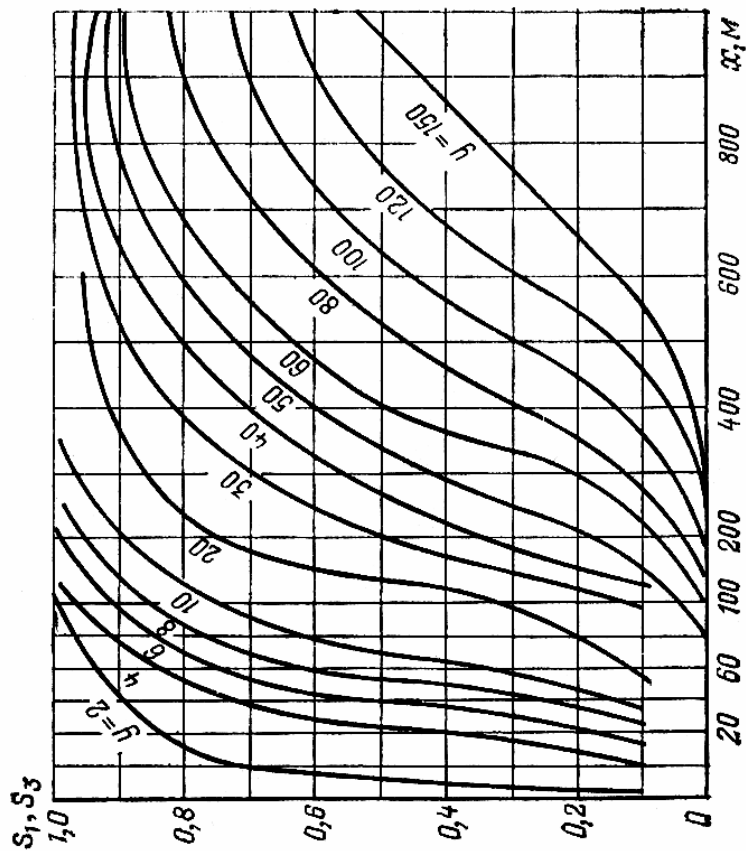
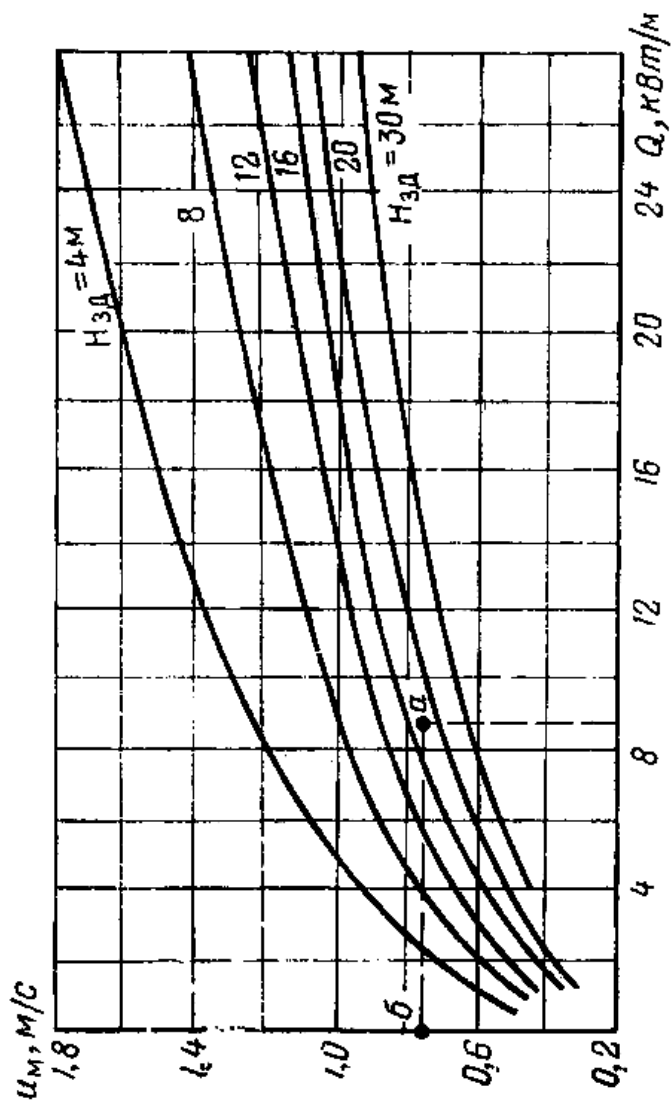


Рисунок Пб. Номограмма для определения вспомогательных безразмерных величин S_1 и S_3 , характеризующих концентрации вредных веществ в любой точке циркуляционной зоны при удалении от источника по оси y , перпендикулярной направлению ветрового потока



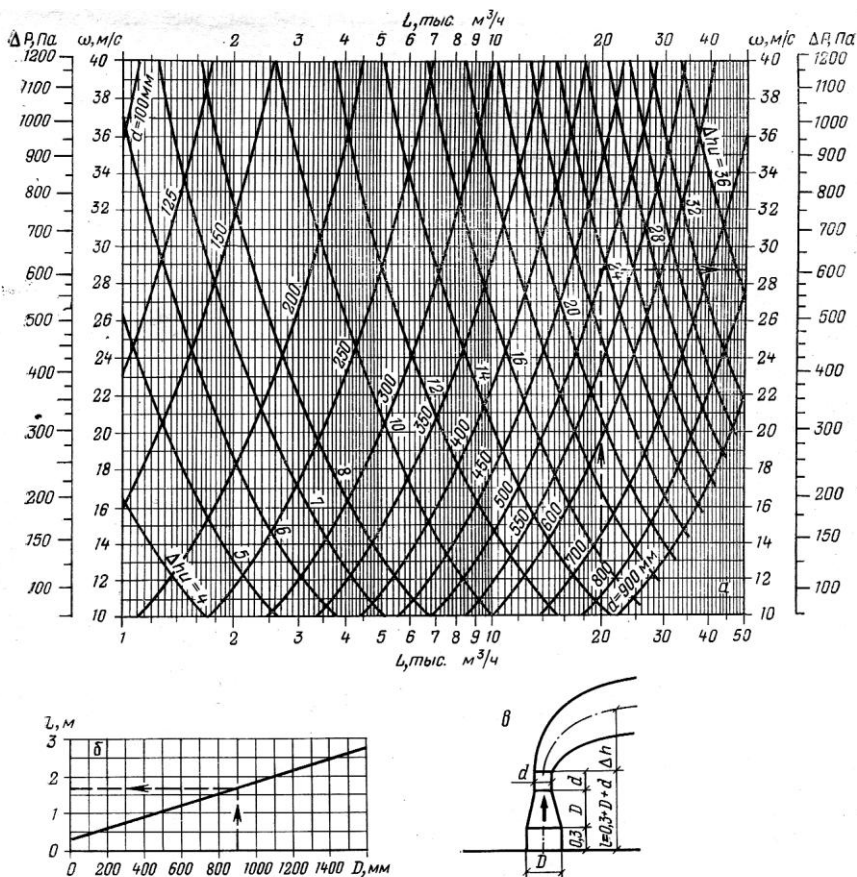


Рисунок П8. Номограмма для определения параметров факельного выброса:
 а – возвышение факельного выброса над срезом насадка в сносящем потоке ветра;
 б – наименьшее возвышение среза насадка факельного выброса над уровнем кровли (при $d=0,5D$); в – схема факельного выброса.

Штриховой линией показано определение наименьшей высоты насадка l , возвышения факела над срезом насадка Δh , скорости выхода ГВС из насадка и потери давления ΔP на факельный выброс при объеме удаляемой ГВС $L=20\,000\text{ м}^3/\text{ч}$, скорости ветра на высоте выброса $u=3,4\text{ м/с}$, диаметр трубы $D=900\text{ мм}$, необходимой высоте факельного выброса над уровнем кровли $l+\Delta h=8,5\text{ м}$. Находим наименьшую высоту насадка $l=1,65\text{ м}$; необходимое возвышение факела над срезом насадка $\Delta h=8,5-1,65=6,85\text{ м}$; произведение $\Delta hu=6,85\cdot 3,4=23,3\text{ м}^2/\text{с}$; при $L=20\,000\text{ м}^3/\text{ч}$ находим $d=490\text{ мм}$, $\omega=28,8\text{ м/с}$ и $\Delta P=610\text{ Па}$; уточненная длина насадка $l=0,3+0,9+0,49\approx 1,7\text{ м}$.

Список литературы

1. Руководство по расчету загрязнения воздуха на промышленных площадках. – М.: Стройиздат, 1977. – 74 с.
2. Никитин В.С., Максимкина Н.Г. и др. // Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС, № 107, 1977. – С. 74–118.
3. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий. СН245–71. – М.: Стройиздат, 1971. – 96 с.
4. Гримитлин М.М., Тимофеева О.Н., Эльтерман В.М. и др. Вентиляция и отопление цехов машиностроительных заводов. – М.: Машиностроение, 1978. – 346 с.
5. Лабораторный практикум по курсу «Компьютерные технологии»: Учеб. пособие /Товажнянский Л.Л., Коцаренко В.А., Сатарин А.В. –Харьков: НТУ «ХПИ», 2001. – 392 с.
6. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 448 с.
7. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Госэнергоиздат, 1975. – 464 с.
8. Семиноженко В.П., Канило П.М., и др. Энергия. Экология. Будущее. –Харьков.:Прапор, 2003. – 462 с.

Навчальне видання

Розрахунок і проектування промислових викидів на ЕОМ

Учебное пособие
Російською мовою

Відповідальний за випуск проф. В.Є. Ведь

Роботу до видання рекомендував доц. О.М. Рассоха

Редактори: О.С. Самініна
Л.Л. Яковлева

План 2004 р., поз.128/

Підписано до друку Формат 60х84 1/16. Папір офсетний. Друк –
ризографія. Гарнитура Times New Roman. Ум. друк. арк. 5,0 Обл.-вид. 5,5.
Наклад 300 прим. Зам. № . Ціна договірна

Видавничий центр НТУ «ХПІ». 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 116 від 10.07.2000 р.

Друкарня НТУ «ХПІ» 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21
